



HAL
open science

Analyse de cycle de vie des systèmes techniques de la mobilité automatisée.

Natalia Kotelnikova-Weiler, Adélaïde Feraille Fresnet

► **To cite this version:**

Natalia Kotelnikova-Weiler, Adélaïde Feraille Fresnet. Analyse de cycle de vie des systèmes techniques de la mobilité automatisée.. [Rapport Technique] Laboratoire Ville Mobilité Transport, Ecole des Ponts, Université Gustave Eiffel. 2022. hal-03827916v1

HAL Id: hal-03827916

<https://hal.science/hal-03827916v1>

Submitted on 24 Oct 2022 (v1), last revised 13 Dec 2022 (v2)

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

« Analyse de cycle de vie des systèmes techniques de la mobilité automatisée »

Rapport technique

Version provisoire du 21 octobre 2022

Rédaction : Natalia Kotelnikova-Weiler, Laboratoire Ville Mobilité Transport, Ecole des Ponts, Université Gustave Eiffel

Relecture : Adélaïde Feraille, Laboratoire Navier UMR 8205, Ecole des Ponts, Université Gustave Eiffel, CNRS

Résumé du rapport technique

L'objectif du présent travail de recherche est de contribuer à la connaissance de la mobilité automatisée du point de vue de ses impacts environnementaux et à l'évaluation des conséquences environnementales possibles de son déploiement à l'échelle. Pour cela l'objectif est de développer une méthodologie ACV adaptée à l'évaluation de la mobilité automatisée et de mettre en place la collecte de données nécessaires à sa mise en œuvre.

La littérature sur l'évaluation environnementale de la mobilité automatisée se concentre sur les effets des services automatisés mais ne traite que partiellement des impacts des systèmes techniques nécessaires à l'automatisation. Or celle-ci repose sur trois grands types de composants, les capteurs, les calculateurs et les systèmes de télécommunication, répartis entre le véhicule, l'infrastructure et la supervision. Il est nécessaire de compléter la connaissance des impacts environnementaux de ces systèmes.

Les systèmes techniques de la mobilité automatisée présentent, dans les scénarios de déploiement à l'échelle, de nombreuses sources de variabilités et d'incertitude : la variabilité technologique car les technologies sont non standardisées et en développement actuellement ; la variabilité des cas d'usage avec une diversité de solutions de mobilité automatisée diffuses ou sur itinéraires pré-définis mobilisant des infrastructures dédiées ou publiques ; une variabilité de contextes de déploiement, notamment en ce qui concerne la disponibilité de réseaux de télécommunication et des incertitudes quant à l'évolution du mix énergétique.

Pour répondre au besoin d'une évaluation cohérente des systèmes techniques malgré cette diversité, une méthode d'évaluation par analyse de cycle de vie a été développée. Elle s'appuie sur un modèle d'ACV générique et paramétré présenté dans ce rapport. L'approche générique permet de garder un cadre d'analyse identique pour différentes configurations de la mobilité automatisée étudiée et la paramétrisation permet de remplacer dans le modèle les composants et les architectures des systèmes techniques (notamment pour représenter les systèmes cibles), varier les performances des composants (ce qui permet de réaliser des études de sensibilité sur les performances futures) et de modifier les cas d'usage pour représenter l'usage du véhicule automatisé au sein de solutions de mobilité cibles. Un exemple de collecte de données nécessaires pour mettre en application le modèle est également présenté dans ce rapport.

1 Introduction et contexte de l'étude

1.1 Contexte de l'étude

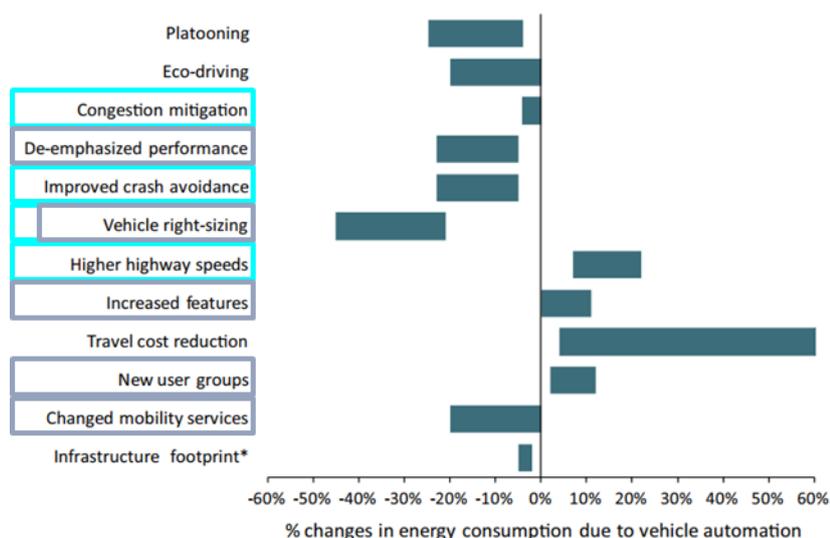
Les recherches présentées dans ce rapport ont été financées par l'ADEME dans le cadre du projet SAM - Sécurité et Acceptabilité de la conduite et de la Mobilité autonome. Ce projet réunit un consortium d'acteurs industriels, de la recherche et de partenaires territoriaux, en réponse à l'Appel à Projets d'Expérimentation du Véhicule Routier Autonome (EVRA) lancé par l'ADEME dans le cadre du Programme d'investissements d'avenir (PIA) en juin 2018. Le projet a démarré en juillet 2019.

Le travail de recherche présenté dans ce rapport vise à développer une méthodologie d'évaluation par analyse de cycle de vie de la mobilité automatisée dans son déploiement à l'échelle et mettre en place la collecte de données permettant sa mise en œuvre.

1.2 Introduction

1.2.1 Evaluation environnementale de la mobilité automatisée

Les revues bibliographiques des travaux de recherche concernant la mobilité automatisée révèlent (Mora2020) un manque de connaissances dans le domaine des impacts environnementaux de cette innovation. Les travaux récents d'évaluation environnementale (exemple : Wadud2016) visent d'abord à identifier les effets possibles de la mobilité autonome (comme listés dans la figure ci-dessous) puis à quantifier leur impact potentiel en termes de consommation d'énergie ou d'émissions de gaz à effet de serre, et enfin à combiner ces effets dans des scénarios de déploiement de la mobilité autonome. Ces scénarios reposent notamment sur des hypothèses de niveau de diffusion de la mobilité autonome et de sa maturité. En effet, certains des effets ne sont permis que par des niveaux élevés de ces deux paramètres. Les résultats obtenus présentent un fort niveau d'incertitude et de variabilité dus à la fois à l'incertitude concernant les effets de la mobilité autonome et à la combinatoire de ces effets dans les scénarios de déploiement.



Diffusion modérée à élevée
Automatisation niv. 3-4

Wadud et al. 2016

Ces études couvrent :

- les effets directs de l'automatisation sur les modes automatisés eux-mêmes modifiant leurs performances environnementales intrinsèques. Comme par exemple (Wadud2016) l'éco-conduite, si elle est effectivement implémentée dans les algorithmes, pourrait rendre la conduite plus efficace en énergie ;
- les effets indirects sur le système de mobilité, facilités par l'automatisation. Par exemple (Wadud2016) si l'automatisation peut rendre certains services plus attractifs, c'est uniquement en interaction avec le système de mobilité dans son ensemble que le report modal peut s'opérer effectivement avec des conséquences environnementales variant d'un contexte à un autre ;
- et parfois les effets exogènes, comme les politiques publiques et les réglementations. Par exemple (Wadud2016), si les bénéfiques en termes d'accidentologie sont effectivement atteints, cela permettrait de revoir les limites de vitesse ou le dimensionnement des équipements de sécurité du véhicule.

Cependant, la mobilité automatisée repose sur un ensemble de systèmes techniques embarqués sur le véhicule, débarqués sur l'infrastructure et mobilisés pour la supervision. Il s'agit de capteurs, comme les caméras ou les LiDARs des véhicules, les feux connectés ou les caméras débarquées collectant des données sur l'environnement dans lequel circule le véhicule. Des calculateurs embarqués ou installés sur l'infrastructure ou encore des serveurs qui ont pour fonction d'interpréter les données issues des capteurs et rendre les informations ainsi produites utilisables pour la navigation du véhicule automatisé, l'exploitation du service ou la supervision. Et enfin des systèmes de télécommunication qui permettent de transmettre ces informations entre le véhicule, l'infrastructure et la supervision. Ainsi, les effets mentionnés précédemment ne sont possibles que grâce à ces systèmes techniques dont il s'agit d'intégrer les impacts environnementaux produits dans l'évaluation environnementale.

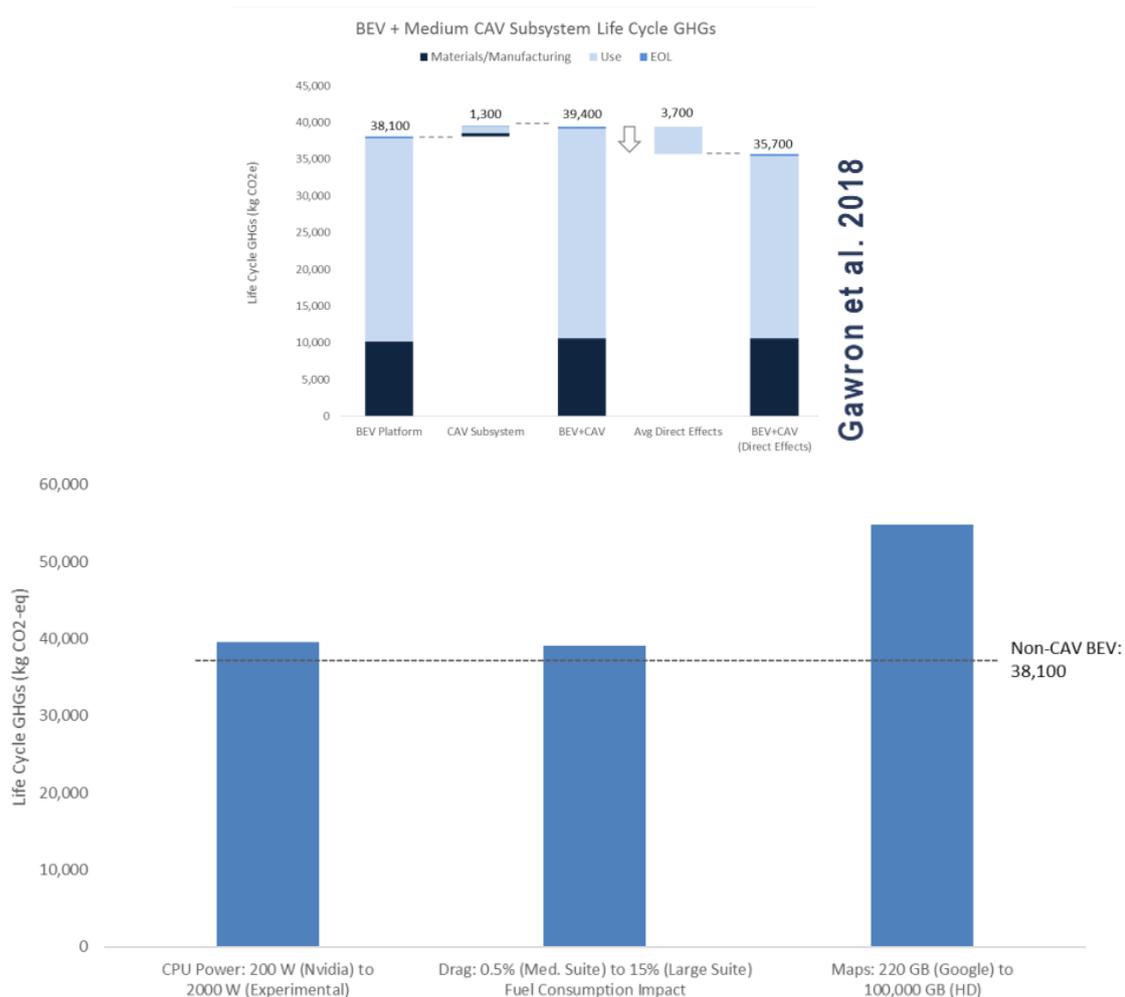
1.2.2 Analyse de cycle de vie de la mobilité routière automatisée

L'analyse de cycle de vie, méthode normée de la série ISO 14040, permet d'évaluer quantitativement les impacts potentiels sur l'ensemble du cycle de vie de produits ou de services. Les différentes phases sont l'extraction des matières premières, la fabrication et l'assemblage, l'utilisation et jusqu'à la fin de vie ou la valorisation des différents composants.

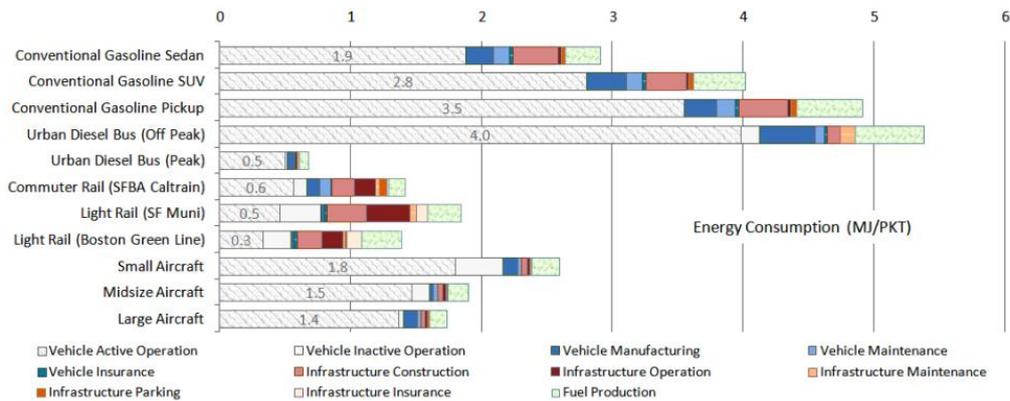
Il s'agit d'une méthode multi-critère couvrant les consommations énergétiques et les émissions de gaz à effets de serre mais permettant aussi d'évaluer des indicateurs complémentaires comme l'épuisement de ressources rares, la formation de particules fines ou les impacts sur la biodiversité ou la santé humaine.

Les premiers travaux d'ACV des systèmes techniques de la mobilité automatisée portent sur les systèmes embarqués (Gawron2018). Ces travaux prennent en compte les impacts de la fabrication des composants, leur consommation d'énergie, l'augmentation de la consommation énergétique de la plateforme due au poids additionnel et au freinage aérodynamique et intègrent également l'impact des données cellulaires reçues par le véhicule pour la navigation. L'ensemble de ces impacts sont ensuite mis en regard des effets directs de l'automatisation (dans l'article il s'agit de l'éco-conduite, de la fluidification du trafic aux intersections permise par la connectivité entre les véhicules et entre les véhicules et l'infrastructure, la conduite en pelotons et des vitesses plus élevées sur l'autoroute). Dans cette étude l'impact produit par l'infrastructure (feux connectés) permettant la fluidification du trafic aux intersections n'est pas pris en compte.

Les résultats nets obtenus (cf figure ci-dessous), c'est-à-dire une réduction de l'empreinte carbone sur l'ensemble du cycle de vie à l'échelle du véhicule, sont fortement sensibles notamment à la puissance du calculateur embarqué, au freinage aérodynamique et à la quantité de données transmises. La figure du bas montre les résultats nets en considérant une carte HD au lieu d'une carte de type Google maps, montrant le risque d'annuler la réduction de l'empreinte carbone, voir d'augmenter l'empreinte carbone à l'échelle du véhicule. Ces travaux sont relativement récents (2018) et ne couvrent que les systèmes embarqués.



Les travaux d'ACV visant l'évaluation des systèmes débarqués montrent que leur contribution n'est pas négligeable (exemple Chester2009) et la distribution des coûts environnementaux à travers les principaux systèmes techniques varie selon les modes étudiés, pouvant biaiser les comparaisons des modes entre eux et, par conséquent, l'évaluation de services déployés en territoires multimodaux. Il est donc nécessaire d'évaluer les contributions de tous les systèmes majeurs impliqués dans la mobilité automatisée : le véhicule, l'infrastructure et la supervision.



Chester et al. 2009

En résumé, les besoins de connaissances pour saisir pleinement l'impact environnemental de la mobilité automatisée, concernent la répartition des impacts environnementaux produits entre :

1. Les systèmes majeurs de la mobilité automatisée.

La littérature se concentre sur le véhicule et les systèmes embarqués, il est nécessaire de compléter la connaissance des autres systèmes – infrastructure et supervision.

2. Les différents impacts environnementaux.

La littérature se concentre sur les indicateurs de consommation d'énergie et les émissions de gaz à effet de serre, il est important de compléter cette évaluation avec d'autres indicateurs pour éviter le risque d'omission des transferts d'impacts.

3. Les phases de cycle de vie.

Une des hypothèses de développement de la mobilité automatisée est qu'elle reposera sur une motorisation électrique. La répartition des impacts environnementaux entre les phases d'usage et de fabrication diffère pour les véhicules électriques et thermiques, il est donc important de garder la vision du cycle de vie complet.

2 Méthodologie

2.1 Objectifs de l'étude et démarche générale

2.1.1 Objectifs

L'objectif de l'étude est de permettre de mieux comprendre les impacts environnementaux de la mobilité routière automatisée, solution innovante en cours de développement actuellement. Et de contribuer ainsi à mieux anticiper les conséquences environnementales pouvant être induites par son déploiement à l'échelle.

Concrètement il s'agit de développer une méthodologie d'analyse de cycle de vie adaptée à l'étude des impacts directs et intrinsèques des systèmes techniques de la mobilité automatisée dans ses cas d'usage visés lors du déploiement à l'échelle et de mettre en place la collecte de données nécessaires pour sa mise en œuvre.

Ainsi cette méthode d'ACV doit permettre de représenter correctement les systèmes techniques cibles et donc d'intégrer pour cela l'ensemble des composants impliqués dans le fonctionnement à un horizon futur, et d'étudier les incertitudes et les variabilités technique et technologique.

2.1.2 Personnes en charge de l'étude

L'étude est portée par le Laboratoire Ville Mobilité Transport (LVMT), laboratoire pluridisciplinaire, unité mixte de recherche entre l'École des Ponts ParisTech et l'Université Gustave Eiffel à travers sa participation dans le projet SAM et implique le laboratoire Navier, laboratoire mixte entre l'École des Ponts ParisTech, l'Université Gustave Eiffel et le CNRS. Ce rapport a été rédigé par Natalia Kotelnikova-Weiler, chargée de recherche au LVMT et relu par Adélaïde Féraïlle, chercheuse au laboratoire Navier.

2.1.3 Applications envisagées et public concerné

Compte tenu de l'état des connaissances sur la contribution des différents systèmes techniques aux impacts environnementaux de la mobilité automatisée, il s'agit d'une proposition méthodologique en premier lieu. L'ensemble de la méthode est restitué dans ce rapport permettant sa réutilisation dans d'autres contextes. Sa mise en application pour différents systèmes techniques permettra de déterminer des ordres de grandeurs exploratoires des impacts des systèmes techniques et d'en déduire les principaux enjeux environnementaux de la mobilité automatisée. L'analyse des principaux contributeurs permettra d'identifier des directions d'investigations prioritaires ainsi que la comparaison de certains choix technologiques mais devra être affinée pour des utilisations opérationnelles d'éco-conception des systèmes ou de services. L'ADEME ainsi que les partenaires industriels du projet SAM sont à ce titre les destinataires de ce rapport.

Compte tenu de la position en complémentarité, comme vu en introduction, des travaux scientifiques déjà menés sur l'ACV de la mobilité automatisée, une diffusion large à la communauté scientifique est visée afin d'enrichir la connaissance de cette innovation, contribuer des éléments méthodologiques complémentaires et soumettre cette proposition méthodologique à l'analyse critique.

2.1.4 Démarche générale

Actuellement la mobilité automatisée n'est pas déployée à l'échelle : elle est au stade de prototype et est testée dans des expérimentations réduites. L'observation et la mesure directe des impacts environnementaux d'un déploiement à l'échelle sont donc impossibles. La méthodologie d'ACV est par conséquent développée dans une perspective d'application à des scénarios de déploiement futur de la mobilité automatisée et des systèmes techniques de maturité suffisante. Cette projection à un horizon futur du déploiement possible à l'échelle, comporte son lot d'incertitudes et de variabilités qui doivent être prises en compte dans la méthodologie développée :

1. L'horizon temporel du déploiement à l'échelle de la mobilité automatisée.

L'horizon temporel d'un possible déploiement à l'échelle est un paramètre incertain en soi, or il est nécessaire de le connaître pour projeter la technosphère dans laquelle s'inscrira la mobilité automatisée, par exemple le mix énergétique, le déploiement et la disponibilité des systèmes de télécommunications et leurs performances ou encore le niveau de diffusion des véhicules connectés et/ou automatisés dans le parc. Ce contexte influence à son tour la configuration du système technique. Par exemple la saturation locale ou ponctuelle des réseaux de télécommunication peut nécessiter l'installation d'antennes dédiées ou la contractualisation d'une priorité à la communication avec le fournisseur, à l'inverse la disponibilité de la 5G peut faciliter le transfert de volumes de données plus importants.

2. Le niveau d'automatisation et l'ODD (Operational Design Domain).

L'automatisation n'est pas une caractéristique binaire mais se situe sur une échelle, définie actuellement par la SAE à travers 6 niveaux :

- Niveau 0 « Pas d'automatisation » : le conducteur humain doit accomplir toutes les tâches de conduite, même s'il peut avoir des alertes de la part du véhicule ;
- Niveau 1 « Assistance à la conduite » : le système automatisé partage la responsabilité de direction et d'accélération/freinage avec le conducteur humain sous conditions limitées, tandis que le conducteur gère les autres tâches (changement de voie par exemple) ;
- Niveau 2 « Automatisation partielle » : le système automatisé contrôle pleinement la direction et l'accélération/freinage sous conditions limitées, tandis que le conducteur gère les autres tâches ;
- Niveau 3 « Automatisation conditionnelle » : Le système automatisé gère l'ensemble des tâches de conduite sous conditions limitées et s'attend à ce que le conducteur humain réponde en cas de requête de reprise en main ;
- Niveau 4 « Automatisation élevée » : Le système automatisé gère l'ensemble des tâches de conduite sous conditions limitées même si le conducteur humain ne répond pas à la requête de reprise en main ;
- Niveau 5 « Automatisation complète » : Le système automatisé contrôle pleinement l'ensemble des tâches de conduite dans toutes les conditions pouvant être gérées par un conducteur humain.

Pour les niveaux de 1 à 4 inclus se rajoute la variabilité liée à l'ODD, c'est-à-dire à l'ensemble des conditions dans lesquelles les opérations de conduite sont réalisées en mode automatisé. Ainsi à chaque combinaison de niveau d'automatisation et d'ODD correspond une configuration de systèmes techniques ayant des impacts environnementaux potentiellement différents.

3. Le cas d'usage et les performances du véhicule et du service à atteindre.

La configuration du système technique dépend également du cas d'usage de la mobilité automatisée et des performances à atteindre pour cette solution de mobilité. Par exemple l'équipement de l'infrastructure et les besoins de supervision seront différents s'il s'agit d'un service sur un itinéraire fixe, ou diffus sur un territoire, ou encore d'un usage particulier et suivant la fluidité de la conduite attendue. Le cas d'usage détermine également l'intensité d'usage et les options de gestion de ces équipements, des données et des informations qu'ils produisent (dédiés ou publiques). En découlent alors les possibilités de mutualisation des impacts environnementaux associés.

4. Variabilité technologique.

Certaines solutions techniques et/ou technologiques futures ne sont pas connues ou sont incertaines ou confidentielles. Plusieurs solutions technologiques sont à l'étude actuellement, par exemple pour des fonctions de connectivité V2X, elles se traduisent par des composants et des architectures de systèmes techniques différents. Ou encore des solutions techniques différentes sont envisagées pour le traitement des données issues de la perception débarquée (en local versus en central) se traduisant par des arbitrages entre transmission de données et équipements additionnels. Enfin, pour de nombreux composants impliqués dans les systèmes techniques, il existe actuellement plusieurs modèles issus de fabricants différents qui se font concurrence sur un marché en pleine effervescence.

5. Incertitudes sur les performances techniques.

Plusieurs technologies mobilisées dans la mobilité autonome sont en plein développement et les composants actuels sont au stade de prototype (ordinateurs de bord, capteurs, algorithmes). Leurs performances actuelles diffèrent donc de ce qu'elles pourront devenir et leurs caractéristiques

deviennent rapidement obsolètes conduisant à une source d'incertitude dans les projections. Par exemple si la fiabilité et la durée de vie pour certains composants prototypes, tels que les capteurs, n'est pas un sujet de préoccupation actuellement, il deviendra critique pour des déploiements massifs et face aux exigences réglementaires. De même la consommation énergétique des ordinateurs embarqués sur des prototypes pourront évoluer avec l'industrialisation de ces composants et l'évolution de leur charge de calcul sur les véhicules de série.

Face à l'ensemble de ces sources d'incertitude et de variabilité, il est nécessaire de disposer d'une méthode d'évaluation cohérente, quelle que soit la configuration, pour comprendre les principaux contributeurs pour différents cas d'usage des véhicules automatisés, représentatifs du déploiement à l'échelle.

Pour cela, un modèle ACV générique paramétré a été construit. Il permet de garder une analyse cohérente et homogénéisée des impacts grâce à la structure générique. Avec la possibilité, grâce à la paramétrisation, de :

- Remplacer les composants et les architectures des systèmes techniques (notamment pour représenter les systèmes cibles) ;
- Varier les performances des composants (pour faire des études de sensibilité sur les performances futures) ;
- Modifier les cas d'usage (notamment pour représenter l'usage au sein des services ou de solutions de mobilité cibles).

L'instanciation du modèle permet de réaliser l'ACV d'un système technique spécifique adapté à un cas d'usage de la mobilité automatisé en particulier.

Pour construire le modèle générique, en parallèle d'une recherche bibliographique, une série d'entretiens a été menée auprès des partenaires industriels du projet SAM afin de délimiter le « champ des possibles » et stabiliser une structure générique du modèle. Puis le modèle a été développé et testé sur des cas d'usage fictifs. Des échanges avec les partenaires industriels ont permis d'affiner la représentation du fonctionnement de certains systèmes techniques, aboutissant à la version présentée dans ce rapport.

Puis des ateliers ont été organisés avec les partenaires du consortium pour définir les scénarios de déploiement à l'échelle et des systèmes techniques associés ce qui a permis de collecter des données pour la mise en œuvre de la méthode ACV développée. En complément, certains paramètres ont pu être renseignés grâce au travail de modélisation de Mwendwa Kiko, ingénieur d'étude au LVMT et travaillant sur l'évaluation de la demande dans le projet SAM. Ceci constitue une forme de couplage entre les modèles transport et les modèles d'ACV.

2.2 Champ de l'étude

2.2.1 Unité fonctionnelle

L'unité fonctionnelle retenue est un kilomètre parcouru par un véhicule routier automatisé (flux de référence 1 veh.km) au sein d'une solution de mobilité (service ou usage privé). Ainsi dans cette étude sont modélisés les impacts environnementaux d'un veh.km incluant les contributions des trois systèmes majeurs de l'automatisation au sein d'une solution de mobilité automatisée : le véhicule lui-même, l'infrastructure et la supervision.

Trois phases du cycle de vie sont considérées : la fabrication, l'usage et la fin de vie et, dans ce qui suit, ces phases de cycle de vie se réfèrent aux phases de cycle de vie des composants. En ce qui

concerne la solution de mobilité qu'ils permettent de réaliser, seule la phase d'usage est étudiée dans le présent travail. La phase de conception de la solution de mobilité, les études trafic ou les enquêtes, la cartographie initiale du territoire qui pourrait nécessiter l'intervention de géomètres experts et l'utilisation d'équipements spécifiques (LiDARs, caméras et localisation précise GNSS+RTK) ou les opérations nécessaires à la sémantisation de cette carte), sont exclus du périmètre.

L'unité fonctionnelle choisie permet de réaliser une ACV des systèmes techniques sensible à l'usage du véhicule au sein de différentes solutions de mobilité mais la comparaison des résultats obtenus aux résultats pour d'autres modes de déplacement des personnes ou des biens nécessite de prendre des précautions car plusieurs caractéristiques ne sont pas intégrées dans la définition de l'unité fonctionnelle choisie :

- la capacité théorique et le remplissage effectif du véhicule qui diffère selon les performances opérationnelles du service (pour la comparaison des modes de déplacement des flux de références en personnes.km et tonnes.km sont plus pertinentes) ;
- les performances du service (par exemple la vitesse commerciale) qui modifient substantiellement la qualité de la fonction remplie. La performance est obtenue, entre autres, grâce à l'implémentation d'équipements spécifiques sur le véhicule, l'infrastructure et le centre de supervision. De la même manière que précédemment il est nécessaire de distinguer entre les performances théoriques et les performances opérationnelles au sein d'un cas d'usage. Par exemple si le véhicule est équipé pour la fonction de communication V2V qui permettrait la conduite en peloton, cette fonction ne sera pas utilisée si la part de véhicules connectés dans le trafic est faible ;
- le niveau d'automatisation et l'ODD pourrait faire partie de la définition de l'unité fonctionnelle pour les solutions de mobilité car la qualité de la fonction de conduite change considérablement selon ces deux paramètres. Cependant comme pour la capacité théorique et le remplissage effectif, il est également nécessaire de distinguer les fonctionnalités théoriques du véhicule dues à ses équipements (il peut être équipé pour atteindre tel niveau d'automatisation dans tel ODD) et son niveau d'autonomie effectif au sein d'un cas d'usage (part du temps ou des kilomètres effectifs passés en mode autonome par exemple). La pertinence d'inclure ou non ces éléments dans la définition de l'unité fonctionnelle reste à étudier, notamment si les variations d'impacts environnementaux liés à ces paramètres se révèlent faibles.

2.2.2 Systèmes techniques considérés

La mobilité routière automatisée se développe actuellement sous diverses formes, par exemple la mobilité de personnes, transport de marchandises longues distances ou encore la logistique urbaine du dernier kilomètre. Ces différentes formes reposent sur des systèmes techniques qui leur sont propres. Dans la présente étude on distingue les systèmes techniques selon le type de véhicule utilisé, le type de solution de mobilité dans lequel il est utilisé et le contexte territorial dans lequel il s'inscrit.

La construction de la méthodologie ACV présentée dans ce rapport s'appuie sur l'étude des systèmes techniques déployés dans les expérimentations du projet SAM et leur projection dans un déploiement à l'échelle de la mobilité automatisée. Dans le projet SAM, 3 types de véhicules sont testés – véhicules légers, navettes urbaines automatisées et droïdes logistiques auxquels s'ajoute l'automatisation des opérations de stationnement de véhicules non automatisés grâce à l'équipement de l'infrastructure d'un parc de stationnement. 6 cas d'usage sont étudiés : conduite autonome, valet de parking, VTC, nouveaux services de mobilité collective et partagée, transport

collectif public, logistique automatisée. Ils sont déployés dans trois contextes territoriaux - urbain dense, périurbain et rural.

Parmi l'ensemble des systèmes techniques que cela représente, deux systèmes techniques ont été investigués en particulier : l'automatisation des véhicules légers pour des solutions de mobilité diffuses (véhicule particulier, services de transport à la demande point à point) et l'automatisation de navettes/minibus/minicar pour des solutions de mobilité sur itinéraires prédéfinis. La méthode d'ACV présentée dans ce rapport a été développée à partir de l'étude de ces deux systèmes spécifiquement.

Compte tenu des nombreuses sources de variabilité et d'incertitude concernant l'évolution des systèmes techniques de la mobilité automatisée évoquées dans la section 2.1.4, une série d'entretiens a été menée entre Mai 2020 et Janvier 2021 afin d'esquisser les possibilités techniques futures. Un résumé des propos recueillis auprès de l'ensemble des partenaires industriels est présenté dans les sections 2.2.2.2 à 2.2.2.6, en particulier les sections 2.2.2.4 à 2.2.2.6 rassemblent les pistes d'évolutions futures des trois systèmes techniques majeurs : le véhicule, l'infrastructure et la supervision. **(Note : dans la version provisoire du rapport public, le résumé des propos recueillis a été retiré en attendant l'accord de publication des partenaires industriels).**

2.2.2.1 Personnes interrogées

| | |
|--|---|
| Entreprises – navettes/minicar/minibus | Personnes ayant participé aux échanges |
| Alstom | Jean-Marc Pagliero |
| EasyMile | Julien Robert |
| Keolis | Clément Aubourg, Sophie Blanc, Aurélie Soulier, Christophe Sanglier, Emeric Claveau, Maxime Le Guern, (Scheherazade Zekri) |
| RATP | Frédéric Chaurang, Omar Hafa |
| Transdev | Sam Lysons, Mihai Chirca, Isabel Baillien, Paulo Miranda, Christine Peyrot, Jean-Michel Tainha, Nicolas Morel, José Triano, Coralie Renard |
| Entreprises – véhicule léger | Personnes interrogées |
| Renault | Patrick Vergelas, Guillaume Brenaut, Thiébaud Moeglin, Frédéric Malefant, Yves Page, Yves Barbian, Olivier Mahe, Jean-François Sencerin, Jacques Faure, Charaf-Eddine Souria, Nathalie Nouna, Yann Chazal |
| PSA | Jean-Michel Pascal |
| Cofiroute – Vinci Autoroutes | Moroine Laoufi |

2.2.2.2 Horizon temporel pour les scénarios des systèmes techniques de la mobilité automatisée dans son déploiement à l'échelle

Actuellement plusieurs facteurs (coût, possibilités technologiques, réglementation) créent de l'incertitude sur l'horizon temporel de la mise à l'échelle de la mobilité automatisée :

Section supprimée de la version provisoire.

2.2.2.3 Caractéristiques générales des systèmes techniques cibles

2.2.2.3.1 Niveau d'automatisation

Section supprimée de la version provisoire.

2.2.2.3.2 Niveau de performance du véhicule

Section supprimée de la version provisoire.

2.2.2.3.3 Contexte de déploiement

Section supprimée de la version provisoire.

2.2.2.3.4 Solutions de mobilité automatisée étudiées

VTC

Voiture à la demande partagée, type VTC ou taxi sur une zone (déplacements de type boucles secondaires). *Section supprimée de la version provisoire.*

Véhicule particulier et auto-partage

Dans le premier cas d'usage il s'agit de la voiture privée disposant de fonctions d'AD. Ces fonctions sont : valet parking et conduite autonome sur autoroutes, le « traffic jam chauffeur ». *Section supprimée de la version provisoire.*

Le deuxième cas d'usage, proche, est la voiture en auto-partage. L'automatisation permet au véhicule de venir à l'utilisateur (déploiement cible) directement. *Section supprimée de la version provisoire.*

Navette à la demande sur une zone ou entre zones prédéfinies

Utilisation des navettes pour du transport à la demande sur une zone ou entre des zones prédéfinies. *Section supprimée de la version provisoire.*

Navette régulière sur un itinéraire fixe

Navette régulière sur itinéraire fixe servant au rabattement de premier et dernier kilomètre (donc au sein de déplacements multimodaux ou sur des distances courtes).

2.2.2.4 Véhicule

2.2.2.4.1 Plate-forme

La plate-forme comporte tous les éléments nécessaires pour le roulage du véhicule. Bien que la plupart des éléments ne sont pas spécifiques à la mobilité automatisée, certains aspects en sont modifiés (redondances par exemple).

Section supprimée de la version provisoire.

2.2.2.4.2 Localisation

L'automatisation de la conduite nécessite une localisation précise du véhicule dans l'espace et sur une cartographie du territoire. *Section supprimée de la version provisoire.*

2.2.2.4.3 Perception

Le système de perception permet au véhicule de percevoir l'environnement dans lequel il circule et les objets qui l'entourent. Plusieurs types de capteurs embarqués sont utilisés pour la perception et elle peut être complétée par des données de perception débarquée.

Section supprimée de la version provisoire.

2.2.2.4.4 Décision

La fonction de décision permet de déterminer le comportement de conduite et la gestion des missions du véhicule.

Section supprimée de la version provisoire.

2.2.2.4.5 IHM

Le système d'IHM permet la communication avec les passagers à bord du véhicule.

Section supprimée de la version provisoire.

2.2.2.4.6 V2X

Le système de communication V2X permet au véhicule de communiquer avec d'autres objets connectés (véhicule, infrastructure, etc...).

Section supprimée de la version provisoire.

2.2.2.5 Supervision

2.2.2.5.1 Supervision service / relation clients

La supervision inclut la gestion de la flotte afin d'assurer le service prévu, la relation client (les rassurer) et la gestion éventuelle de l'intermodalité et des incidents (type ground control).

Section supprimée de la version provisoire.

2.2.2.5.2 Monitoring systèmes

Le monitoring des systèmes techniques permet de s'assurer de leur bon fonctionnement à distance.

Section supprimée de la version provisoire.

2.2.2.5.3 Equipes terrain

En l'absence de conducteur et de tout autre personnel à bord du véhicule automatisé, des équipes présentes sur le terrain devront intervenir en cas d'incident impossible à régler à distance.

Section supprimée de la version provisoire.

2.2.2.6 Infrastructure

2.2.2.6.1 Route

Les véhicules automatisés étudiés sont des véhicules routiers se déplaçant sur une infrastructure devant être maintenue en bon état. Selon le cas d'usage il peut s'agir d'une infrastructure dédiée ou la circulation peut se faire en trafic mixte sur routes ouvertes.

Section supprimée de la version provisoire.

2.2.2.6.2 Service

Plusieurs aménagements de l'infrastructure peuvent être réalisés pour les besoins du service de mobilité automatisée, comme la création d'arrêts ou de dépôts mais également l'intégration de l'offre dans une application MaaS.

Section supprimée de la version provisoire.

2.2.2.6.3 Geo-positionnement

Certains équipements de l'infrastructure contribuent à la géo-localisation du véhicule automatisé.

Section supprimée de la version provisoire.

2.2.2.6.4 Perception débarquée

L'infrastructure peut être équipée pour fournir des informations concernant l'environnement dans lequel circule le véhicule automatisé. Cette perception débarquée peut prendre plusieurs formes et repose sur différents types de composants (caméras, LiDars, feux connectés).

Section supprimée de la version provisoire.

2.2.2.6.5 Traitement des données

Les données brutes issues des capteurs de perception débarquée (caméras, LiDARS, feux et barrières connectées) doivent être traitées avant que les informations utiles ne soient diffusées aux véhicules.

Section supprimée de la version provisoire.

2.2.2.6.6 Télécom

Les équipements de télécommunication de l'infrastructure permettent de transférer les informations entre différents systèmes – véhicule, infrastructure et supervision.

Section supprimée de la version provisoire.

2.2.3 Frontières du système

2.2.3.1 Périmètre ACV des systèmes techniques – critères de sélection

L'ACV des systèmes techniques de la mobilité automatisée couvre l'ensemble des éléments (véhicule, infrastructure, centre de supervision) impliqués dans son fonctionnement. Elle couvre également l'ensemble des processus du cycle de vie de ces éléments : extraction de matières premières, fabrication, transport et déploiement sur le site, usage et maintenance, fin de vie. Ce périmètre large répond au besoin de mieux comprendre le fonctionnement et les impacts associés de ces modes nouveaux et innovants.

Même si l'objectif est de fournir une vision large des systèmes techniques impliqués et leurs coûts environnementaux respectifs, il est impossible de couvrir l'ensemble des éléments de manière exhaustive, des choix de limitation du périmètre ont été réalisés. En considérant les éléments techniques (composants, transferts de données) impliqués dans la mobilité automatisée, plusieurs

caractéristiques ont été examinées pour décider de les inclure ou de les exclure du périmètre d'évaluation :

- Degré de mutualisation : les éléments spécifiquement dédiés à la mobilité automatisée ou partagés avec d'autres solutions de mobilité ont été généralement inclus, tandis qu'uniquement la phase d'usage a été incluse pour les composants partagés avec des systèmes autres que des systèmes de mobilité (par exemple les systèmes de télécommunication publics).
- La spécificité à la conduite automatisée : les éléments spécifiques à la conduite automatisée sont inclus tandis que les autres composants supports des fonctions « conventionnelles » sont agrégés ou exclus du périmètre.
- Spécificité aux expérimentations : certains éléments sont présents dans les prototypes actuellement expérimentés mais ne feront probablement pas partie du déploiement de la mobilité automatisée mature, ces éléments ont été exclus du périmètre.
- Spécificité à la provision de service de mobilité. Le travail présenté dans ce rapport se focalise sur les systèmes techniques impliqués dans la conduite automatisée au sein d'une solution de mobilité et exclut les composants nécessaires pour la réalisation du service (arrêts, application MaaS, etc..) – ces éléments devront être inclus dans l'ACV des services de mobilité automatisée.

2.2.3.2 Synthèse

Section supprimée de la version provisoire.

2.2.3.3 Exclusions – limites de modélisation

Le modèle générique construit s'appuie sur le périmètre établi mais suivant la disponibilité des données dans la base de données ou dans la littérature, certains éléments ou phases de cycle de vie n'ont pas été modélisés. Typiquement la phase de fin de vie et de recyclage n'a pas été modélisée dans le modèle générique. Les autres limites de modélisation par rapport au périmètre initial sont précisées dans la partie 4.4 « Construction de l'inventaire » de ce rapport.

2.3 Méthode de calcul des impacts

2.3.1 Logiciel de calcul

Le logiciel open source OpenLCA a été utilisé pour développer le modèle générique paramétré. Ce logiciel est développé par GreenDeltaTC, Berlin.

2.3.2 Base de données environnementales

Dans ce travail la base de données Ecoinvent 3.6 a été utilisée. C'est une des plus larges bases de données rassemblant des modèles et des données d'inventaires issus de travaux académiques et industriels.

2.3.3 Impacts environnementaux et énergétiques pris en compte

Pour un premier travail exploratoire visant à identifier les principaux contributeurs dont la modélisation nécessite d'être affinée, l'indicateur de consommation d'énergie primaire a été calculé (en MJ) avec la méthode Cumulative Energy Demand.

3 Structuration de l'inventaire, le modèle générique ACV des systèmes techniques

3.1 La structuration du modèle générique paramétré

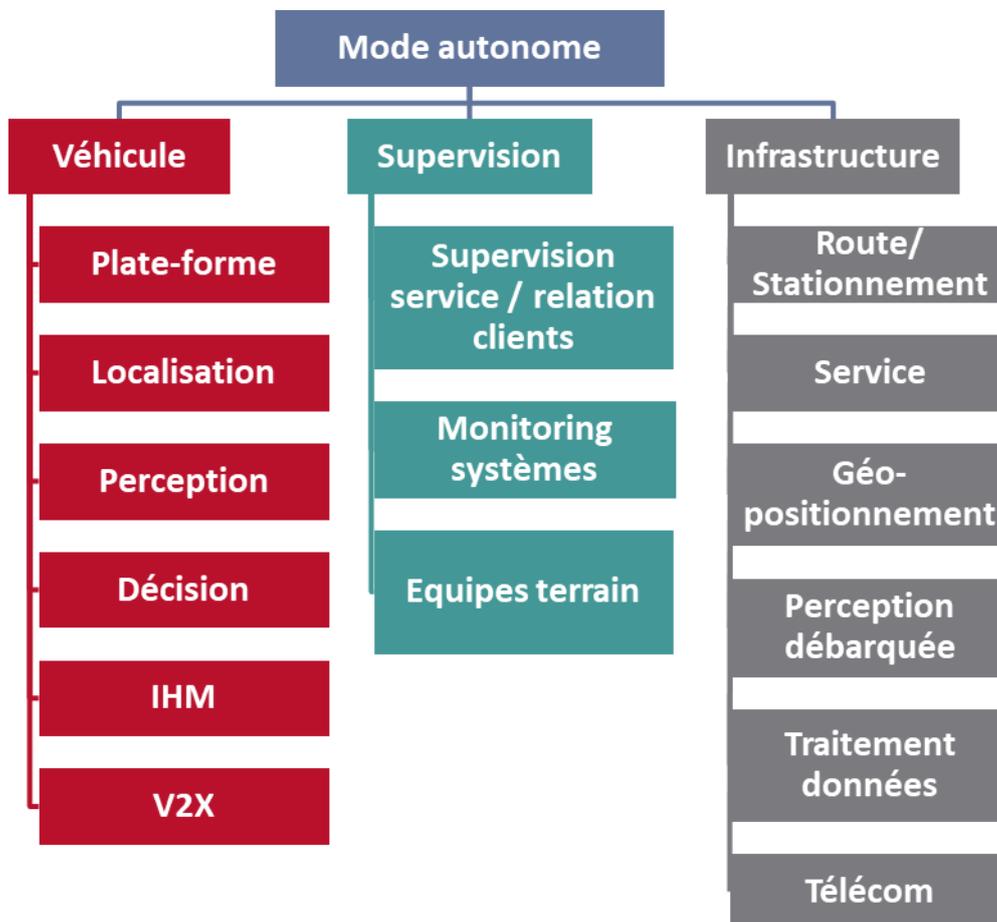
Le modèle générique est structuré en trois grands systèmes impliqués dans la mobilité automatisée – le véhicule, l'infrastructure et la supervision. Le travail d'analyse de ces systèmes à partir des expérimentations et des entretiens a permis d'identifier une structure générique pour les sous-systèmes basée sur les fonctions qu'ils remplissent pour l'automatisation.

Cette structure générique permet de comprendre la structuration des coûts environnementaux en quantifiant la contribution de chacun des sous-systèmes à une unité de base, le veh.km parcouru, indépendamment des solutions techniques choisies pour les réaliser.

Pour la conduite automatisée, ces sous-systèmes reposent non seulement sur des composants physiques mais également sur des échanges de données. Dans le modèle développé ici, le choix a été fait d'attribuer le coût environnemental du transfert de données au système qui reçoit la donnée.

Il est à noter que ces différents sous-systèmes ne sont pas systématiquement présents selon les cas d'usage. Un système technique au sein d'un cas d'usage spécifique pourrait impliquer l'ensemble de ces sous-systèmes ou uniquement une partie selon le niveau d'automatisation, des choix technologiques, les contraintes du contexte et de la solution de mobilité pour laquelle il est conçu.

La figure ci-dessous représente les systèmes et les sous-systèmes identifiés dans les parties 2.2.2.4, 2.2.2.5 et 2.2.2.6 de ce rapport.



Pour chaque sous-système, trois niveaux de représentation sont constitués, leur modélisation permet de répondre aux questions suivantes :

Composant :



Quels sont les impacts environnementaux des composants associés à la fabrication/fin de vie d'une unité et à une heure de son fonctionnement, compte tenu de leurs caractéristiques (poids, puissance, composition matière,...) ?

Architecture :



Quelle part de ces impacts doit être associée à un veh.km qui utiliserait ces équipements, compte tenu du nombre de composants dans l'architecture du système donné, de leurs durées de vie respectives, et du degré de mutualisation de ces équipements ?

Cas d'usage :



Quels sont alors les impacts à considérer pour un veh.km parcouru en mode autonome dans le cas d'usage étudié, compte tenu de l'usage du véhicule autonome - son itinéraire, sa vitesse, et les transferts de données nécessaires ?

Le modèle générique rassemble alors une modélisation paramétrée des composants (en utilisant plusieurs sources de données, la littérature scientifique et la base de données Ecoinvent 3.6) et une modélisation paramétrée du fonctionnement des systèmes techniques et des cas d'usage à travers les modèles d'attribution sous OpenLCA (en utilisant plusieurs sources de données, la littérature scientifique et la base de données Ecoinvent 3.6).

3.2 Choix des paramètres

Le modèle générique possède une structure commune permettant d'analyser dans un même cadre d'évaluation plusieurs systèmes techniques de la mobilité automatisée. Afin de piloter ce modèle générique et représenter ainsi la diversité de systèmes techniques, des paramètres ont été introduits à chaque niveau de modélisation – au niveau des composants, des architectures et des cas d'usage.

Au niveau des composants, les paramètres les caractérisant sont principalement le poids, la puissance électrique et la durée de vie du composant. La composition matière est internalisée dans le process associé et est issue de la littérature.

Au niveau des architectures, les paramètres sont principalement le nombre de composants ou un ratio du nombre de composant par kilomètre d'infrastructure ou par véhicule au sein de cette architecture et suivant le contexte.

Au niveau des cas d'usage, les paramètres sont principalement des caractéristiques d'usage du véhicule (vitesse, itinéraire), les caractéristiques de mutualisation (flux de trafic) et les quantités de données (ratio au kilomètre ou à l'heure de déplacement) utilisées par ce sous-système pour le cas d'usage étudié.

Ce sont les paramètres de premier plan pour la présente étude dont l'objectif est d'anticiper les conséquences possibles du déploiement à l'échelle de solutions de mobilité automatisées tenant compte de la diversité de solutions possibles et des incertitudes quant à leurs performances futures. L'objectif est donc de construire des valeurs d'impacts-types à partir de scénarios contrastés.

L'ensemble des paramètres est décrit de manière détaillée dans la section « 4.3 Recueil des données ».

4 Construction du modèle

4.1 Principe de construction des scénarios contrastés

L'objectif de l'évaluation environnementale est d'apporter des réponses concernant le déploiement « à l'échelle » de la mobilité autonome, cependant il n'y a pas de déploiement « à l'échelle » observable mais des expérimentations « réduites » peu représentatives du déploiement cible. Il n'y a pas de systèmes techniques matures, actuellement la technologie est en développement avec certains éléments au stade de prototype.

Il faut donc des scénarios de déploiement cibles construits par les partenaires industriels et les territoires. En effet, dans les approches « top-down » utilisés dans la littérature (partant d'une pénétration globale de la technologie sur les marchés), suivant les scénarios d'usage construits, les conséquences du déploiement sont très différentes conduisant à une forte incertitude sur les résultats. Ainsi, contextualiser le déploiement (approche « bottom-up » partant d'un service déployé sur un territoire spécifique choisi) permettrait de réduire cette variabilité de contexte. D'autre part il y a une forte incertitude sur l'évolution future des technologies et de leurs performances, produire des scénarios contrastés permettrait « d'encadrer » l'évolution probable à un horizon de futur « proche » (ici 2030). La projection à plus de 10 ans n'est pas réaliste compte tenu de l'incertitude sur le contexte et l'évolution possible de la technologie de conduite automatisée.

Afin de construire ces scénarios, le LVMT a développé une méthode répliquable sur des projets de mobilité automatisée. Cette méthode vise la scénarisation du « passage à l'échelle » et s'appuie sur des ateliers de co-construction entre partenaires industriels, territoires et évaluateurs du projet. Les ateliers se déroulent en 3 étapes :

- Les ateliers « Modèles économiques » exploratoires permettent d'explorer les modèles d'affaire des services de mobilité automatisée sur des territoires génériques (urbain, périurbain, rural) et comprendre les arbitrages mis en jeu, les ressources et les acteurs mobilisables.
- Les ateliers de « Finalisation des services » permettent de concevoir des scénarios de service déployés sur des territoires spécifiques et d'en définir les caractéristiques opérationnelles.
- Enfin les ateliers « Systèmes techniques » visent à scénariser les systèmes techniques qui permettent de réaliser les services imaginés sur les territoires de déploiement.

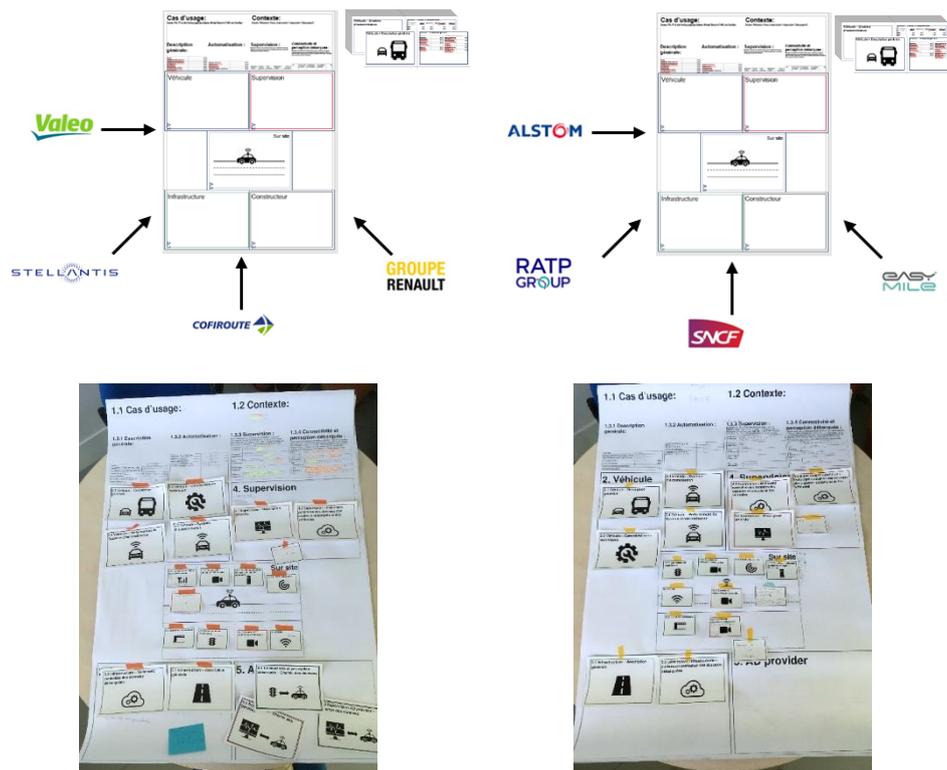
4.2 Déclinaison de la méthode de « mise à l'échelle » dans le projet SAM et scénarios construits.

Au sein du projet SAM, cette méthode a été déclinée pour scénariser 2 cas d'usage sur le territoire péri-urbain de Paris-Saclay l'un des sites d'expérimentation du projet SAM en 2030 (date faisant consensus entre partenaires et en accord avec la stratégie nationale de déploiement de la mobilité automatisée).

Les ateliers « Finalisation des services » ont abouti à deux scénarios de services. *(Note : dans la version provisoire du rapport public, la description des scénarios construits a été retirée en attendant l'accord de publication des partenaires industriels).*

Section supprimée de la version provisoire.

Puis, pour chacun des services, deux scénarios de systèmes techniques ont été élaborés : un scénario minimaliste et un scénario ambitieux en termes d'équipements de l'infrastructure. Pour ces scénarios une architecture du système technique cible ainsi que des ordres de grandeur des principales caractéristiques ont été produits. La figure ci-dessous représente schématiquement le travail des deux groupes lors de ces ateliers.



4.2.1 Scénario ambitieux VL (véhicule léger)

Section supprimée de la version provisoire.

4.2.2 Scénario ambitieux navette/minicar

Section supprimée de la version provisoire.

4.2.3 Scénario minimaliste VL/Minicar

Section supprimée de la version provisoire.

4.2.4 Synthèse et discussion des scénarios

Section supprimée de la version provisoire.

4.3 Recueil des données

Les scénarios construits ont permis de récolter les données (premiers ordres de grandeur) pour la modélisation : les valeurs des paramètres présentés dans les parties qui suivent. *(Note : les valeurs recueillies lors des ateliers ont été retirées de la version provisoire publique du rapport, en attente d'accord de diffusion des partenaires industriels)*

4.3.1 Vehicule

4.3.1.1 Composant

PoidsVehSsBat

(kg) Poids du véhicule hors batterie et hors équipements d'automatisation.

Ordres de grandeur issus de la littérature : 1348.0 - Reprise de la modélisation d'un véhicule électrique dans éconinvent 3.6

Section supprimée de la version provisoire.

DistTotVehU

(km) Distance effectivement parcourue pendant toute la durée de vie du véhicule. (Remarque : Ne peut pas être nul (sinon division par 0 dans le modèle)).

Ordres de grandeur issus de la littérature : 150 000 – Scénario exploratoire (usage d'une VP).

Section supprimée de la version provisoire.

PtPowerAutoroute

(kWh/100km) Consommation électrique nominale de la plate-forme (hors équipements d'automatisation) au 100km parcourus en contexte autoroutier.

Ordres de grandeur issus de la littérature : 21.55 - Estimation « petit » véhicule.

Section supprimée de la version provisoire.

PtPowerUrb

(kWh/100km) Consommation électrique nominale de la plate-forme au 100km parcourus en contexte urbain.

Ordres de grandeur issus de la littérature : 14.25 – estimation « petit » véhicule

Section supprimée de la version provisoire.

PtPowerRural

(kWh/100km) Consommation électrique nominale de la plate-forme au 100km parcourus en contexte rural.

Ordres de grandeur issus de la littérature : 17.5 - Estimation « petit » véhicule

Section supprimée de la version provisoire.

PtPowerParking

(kWh/100km) Consommation électrique nominale de la plate-forme au 100km parcourus dans le contexte d'un parking.

Ordres de grandeur issus de la littérature : 14.25 Estimation « petit » véhicule

Section supprimée de la version provisoire.

PoidsBat

(kg) Poids de la batterie.

Ordres de grandeur issus de la littérature : 200.0 Reprise de la modélisation d'un véhicule électrique dans éconinvent 3.6

Section supprimée de la version provisoire.

EffBattery

(N/A) Efficacité de la batterie (charge - recharge)

Ordres de grandeur issus de la littérature : 0.9 Estimation à partir de l'article Gawron et al. 2018

Section supprimée de la version provisoire.

DistTotBatU

(km) Durée de vie de la batterie exprimée en kilomètres parcourus effectivement par le véhicule. (Remarque : Ne peut pas être nul (sinon division par 0 dans le modèle)).

Ordres de grandeur issus de la littérature : 100 000 Scénario exploratoire

Section supprimée de la version provisoire.

CameraWeight

(kg) Poids camera.

Ordres de grandeur issus de la littérature : 0.055 Estimation à partir de l'article Gawron et al. 2018.

Section supprimée de la version provisoire.

CameraPower

(W) Puissance électrique de la caméra.

Ordres de grandeur issus de la littérature : 2.1 Estimation à partir de l'article Gawron et al. 2018.

Section supprimée de la version provisoire.

LSCamera

(an) Durée de vie de la caméra. (Remarque : Ne peut pas être nul (sinon division par 0 dans le modèle)).

LS (Lifespan): comprendre: MTBF (mean time between failures) ou MTBR (mean time between replacements) / nombre d'heures de fonctionnement annuels.

Ordres de grandeur issus de la littérature : 5 Estimation

Section supprimée de la version provisoire.

SLidarWeight

(kg) Poids d'un petit LiDAR.

Ordres de grandeur issus de la littérature : 0.83 Estimation à partir de l'article Gawron et al. 2018.

Référence Velodyne Puck – 0.830kg

Section supprimée de la version provisoire.

SLiDARPower

(W) Puissance électrique du petit LiDAR.

Ordres de grandeur issus de la littérature : 8.0 Estimation à partir de l'article Gawron et al. 2018.

Référence Velodyne Puck – 8W

Section supprimée de la version provisoire.

LSSLiDAR

(an) Durée de vie du petit LiDAR. (Remarque : Ne peut pas être nul (sinon division par 0 dans le modèle)).

LS (Lifespan): comprendre: MTBF (mean time between failures) ou MTBR (mean time between replacements) / nombre d'heures de fonctionnement annuels.

Ordres de grandeur issus de la littérature : 5 Estimation

Section supprimée de la version provisoire.

LLidarWeight

(kg) Poids grand LiDAR.

Ordres de grandeur issus de la littérature : 12.25 Estimation à partir de l'article Gawron et al. 2018.

Référence Ultra Puck – 0.925kg (vs Alpha Puck – 3,5 kg)

Section supprimée de la version provisoire.

LLidarPower

(W) Puissance électrique du "grand" LiDAR.

Ordres de grandeur issus de la littérature : 60.0 Estimation à partir de l'article Gawron et al. 2018.

Référence Velodyne Ultra Puck – 10 W (Alpha Prime – 23W)

Section supprimée de la version provisoire.

LSLLiDAR

(an) Durée de vie du grand LiDAR. (Remarque : Ne peut pas être nul (sinon division par 0 dans le modèle)).

LS (Lifespan): comprendre: MTBF (mean time between failures) ou MTBR (mean time between replacements) / nombre d'heures de fonctionnement annuels.

Ordres de grandeur issus de la littérature : 5 Estimation

Section supprimée de la version provisoire.

SonarWeight

(kg) Poids d'un capteur ultrasons.

Ordres de grandeur issus de la littérature : 0.054 Estimation à partir de l'article Gawron et al. 2018

Section supprimée de la version provisoire.

SonarPower

(W) Puissance électrique d'un capteur ultrasons.

Ordres de grandeur issus de la littérature : 0.13 Estimation à partir de l'article Gawron et al. 2018.

Section supprimée de la version provisoire.

LSSonar

(an) Durée de vie d'un capteur ultra-sons. (Remarque : Ne peut pas être nul (sinon division par 0 dans le modèle))

LS (Lifespan): comprendre: MTBF (mean time between failures) ou MTBR (mean time between replacements) / nombre d'heures de fonctionnement annuels.

Ordres de grandeur issus de la littérature : 5 Estimation

Section supprimée de la version provisoire.

RadarWeight

(kg) Poids d'un radar.

Ordres de grandeur issus de la littérature : 0.285 Estimation à partir de l'article Gawron et al. 2018.

Section supprimée de la version provisoire.

RadarPower

(W) Puissance électrique du radar.

Ordres de grandeur issus de la littérature : 4.0 Estimation à partir de l'article Gawron et al. 2018.

Section supprimée de la version provisoire.

LSRadar

(an) Durée de vie du radar. (Remarque : Ne peut pas être nul (sinon division par 0 dans le modèle)).

LS (Lifespan): comprendre: MTBF (mean time between failures) ou MTBR (mean time between replacements) / nombre d'heures de fonctionnement annuels.

Ordres de grandeur issus de la littérature : 5 Estimation

Section supprimée de la version provisoire.

GNSSWeight

(kg) Poids du récepteur GNSS.

Ordres de grandeur issus de la littérature : 0.64 Estimation à partir de l'article Gawron et al. 2018

Section supprimée de la version provisoire.

GNSSPower

(W) Puissance électrique du récepteur GNSS.

Ordres de grandeur issus de la littérature : 2.0 Estimation à partir de l'article Gawron et al. 2018.

Section supprimée de la version provisoire.

LSGNSS

(an) Durée de vie du récepteur GNSS du véhicule autonome. (Remarque : Ne peut pas être nul (sinon division par 0 dans le modèle))

LS (Lifespan): comprendre: MTBF (mean time between failures) ou MTBR (mean time between replacements) / nombre d'heures de fonctionnement annuels.

Ordres de grandeur issus de la littérature : 5 Estimation

Section supprimée de la version provisoire.

OBUWeight

(kg) Poids de l'unité de communication de courte portée embarquée.

Ordres de grandeur issus de la littérature : 2.654 Estimation à partir de l'article Gawron et al. 2018

Section supprimée de la version provisoire.

OBUPower

(W) Puissance électrique de l'unité de communication de courte portée embarquée.

Ordres de grandeur issus de la littérature : 6.0 Estimation à partir de l'article Gawron et al. 2018.

Section supprimée de la version provisoire.

LSOBU

(an) Durée de vie de l'unité de communication de courte portée embarquée sur le véhicule autonome. (Remarque : Ne peut pas être nul (sinon division par 0 dans le modèle)).

LS (Lifespan): comprendre: MTBF (mean time between failures) ou MTBR (mean time between replacements) / nombre d'heures de fonctionnement annuels.

Ordres de grandeur issus de la littérature : 5 Estimation

Section supprimée de la version provisoire.

ComputerWeight

(kg) Poids ordinateur de bord.

Ordres de grandeur issus de la littérature : 5.075 Estimation à partir de l'article Gawron et al. 2018.

Section supprimée de la version provisoire.

ComputerPower

(W) Puissance électrique de l'ordinateur de bord.

Ordres de grandeur issus de la littérature : 96.0 Estimation à partir de l'article Gawron et al. 2018.

Voir également Lin et al 2018 p. 12 -> conso totale entre 250 et 2000 (pour 8 caméras à passer en 12 mais enlever 110 pour stockage et 0,77*110 de clim associée) et reporter la part de la clim vers la plate-forme (77W pour chaque 100W)

Section supprimée de la version provisoire.

LSComputer

(an) Durée de vie de l'ordinateur de bord du véhicule. (Remarque : Ne peut pas être nul (sinon division par 0 dans le modèle)).

LS (Lifespan): comprendre: MTBF (mean time between failures) ou MTBR (mean time between replacements) / nombre d'heures de fonctionnement annuels.

Ordres de grandeur issus de la littérature : 5 Estimation

Section supprimée de la version provisoire.

StructureWeight

(kg) Poids de la structure permettant de fixer les capteurs sur le véhicule.

Ordres de grandeur issus de la littérature : 5.824 Estimation à partir de l'article de Gawron et al. 2018.

Section supprimée de la version provisoire.

LSStructure

(an) Durée de vie de la structure qui permet de fixer le système de perception sur le véhicule autonome. (Remarque : Ne peut pas être nul (sinon division par 0 dans le modèle)).

Ordres de grandeur issus de la littérature : 12.0 Estimation: même durée de vie que le véhicule, cf LSVehPF

Section supprimée de la version provisoire.

HarnessWeight

(kg) Poids câbles électriques connectant le système de perception - fusion – décision, assurant la redondance des actionneurs.

Ordres de grandeur issus de la littérature : 0.15 Estimation à partir de l'article Gawron et al. 2018.

Section supprimée de la version provisoire.

Éléments n'ayant pas été modélisés. Caractérisés par les paramètres suivants (non implémentés dans le modèle) :

BboxWeight

(kg) Poids « boîte noire ».

Ordres de grandeur issus de la littérature :

Section supprimée de la version provisoire.

BboxPower

(W) Puissance électrique de la « Boîte noire ».

Ordres de grandeur issus de la littérature :

Section supprimée de la version provisoire.

LSBbox

(an) Durée de vie de la « Boîte noire ». (Remarque : Ne peut pas être nul (sinon division par 0 dans le modèle)).

LS (Lifespan): comprendre: MTBF (mean time between failures) ou MTBR (mean time between replacements) / nombre d'heures de fonctionnement annuels.

Ordres de grandeur issus de la littérature :

Section supprimée de la version provisoire.

HMIScreenWeight

(kg) Poids des écrans IHM installés dans les véhicules.

Ordres de grandeur issus de la littérature :

Section supprimée de la version provisoire.

HMIScreenPower

(W) Puissance électrique des écrans IHM installés dans les véhicules.

Ordres de grandeur issus de la littérature : 15W (référence Huber et al. 2022)

Section supprimée de la version provisoire.

LSHMIScreen

(an) Durée de vie des écrans IHM installés dans les véhicules. (Remarque : Ne peut pas être nul (sinon division par 0 dans le modèle)).

LS (Lifespan): comprendre: MTBF (mean time between failures) ou MTBR (mean time between replacements) / nombre d'heures de fonctionnement annuels.

Ordres de grandeur issus de la littérature :

Section supprimée de la version provisoire.

4.3.1.2 Architecture

NbCamera

(nb) Nombre de caméras incluses dans l'architecture de perception du véhicule.

Ordres de grandeur issus de la littérature : 7.0 Estimation: à partir de l'article Gawron et al. 2018

Section supprimée de la version provisoire.

NbSLiDAR

(nb) Nombre de petits LiDARs dans l'architecture du système de perception du véhicule autonome.

Ordres de grandeur issus de la littérature : 2.0 Estimation: à partir de l'article GAwron et al. 2018

Section supprimée de la version provisoire.

NbLLiDAR

(nb) Nombre de grands LiDARs dans l'architecture du système de perception du véhicule.

Ordres de grandeur issus de la littérature : 0.0 Estimation: à partir de l'article Gawron et al. 2018.

Section supprimée de la version provisoire.

NbSonar

(nb) Nombre de capteurs ultra-sons dans l'architecture du système de perception du véhicule autonome.

Ordres de grandeur issus de la littérature : 8.0 Estimation: à partir de l'article Gawron et al. 2018.

Section supprimée de la version provisoire.

NbRadar

(nb) Nombre de radars dans l'architecture du système de perception du véhicule autonome.

Ordres de grandeur issus de la littérature : 2.0 Estimation: à partir de l'article Gawron et al. 2018.

Section supprimée de la version provisoire.

NbGNSS

(nb) Nombre de récepteurs GNSS installés dans le véhicule autonome.

Ordres de grandeur issus de la littérature : 1.0 Estimation: à partir de l'article Gawron et al. 2018.

Section supprimée de la version provisoire.

NbOBU

(nb) Nombre d'unités de communication de courte portée installés sur le véhicule autonome.

Ordres de grandeur issus de la littérature : 1.0 Estimation: à partir de l'article Gawron et al. 2018.

Section supprimée de la version provisoire.

NbComputer

(nb) Nombre d'ordinateurs de bord du véhicule autonome.

Ordres de grandeur issus de la littérature : 2.0 Estimation: à partir de l'article Gawron et al. 2018

Section supprimée de la version provisoire.

NbHarness

(nb) Nombre de circuits connectant les différents éléments de perception du véhicule autonome.

Ordres de grandeur issus de la littérature : 1.0 Estimation: à partir de l'article Gawron et al. 2018.

Section supprimée de la version provisoire.

Éléments de l'architecture n'ayant pas été modélisés. Ils sont caractérisés par les paramètres suivants (non implémentés dans le modèle) :

NbBbox

(nb) Nombre de « boîtes noires » du véhicule autonome.

Ordres de grandeur issus de la littérature :

Section supprimée de la version provisoire.

NbHMIScreen

(nb) Nombre d'écrans IHM installés dans les véhicules.

Ordres de grandeur issus de la littérature :

Section supprimée de la version provisoire.

4.3.1.3 Cas d'usage

PartAutoroute

(N/A) Part des veh.km parcourus par le véhicule autonome sur des autoroutes.

Paramètre dépendant égal à 1-PartUrb-PartRural-PartParking

PartUrb

(N/A) Part des veh.km parcourus par le véhicule autonome sur des routes urbaines.

Ordres de grandeur issus de la littérature : 0.0 Scénario exploratoire

Section supprimée de la version provisoire.

PartRural

(N/A) Part des veh.km parcourus par le véhicule autonome sur des routes rurales.

Ordres de grandeur issus de la littérature : 0.0 Scénario exploratoire

Section supprimée de la version provisoire.

PartParking

(N/A) Part des veh.km parcourus par le véhicule autonome au sein des parkings équipés.

Ordres de grandeur issus de la littérature : 0.0 Scénario exploratoire

Section supprimée de la version provisoire.

ParkingRate

(nb stationnement/(veh.km) parcouru) Le nombre d'opérations de stationnements effectuées dans un parking équipé pour le stationnement autonome par veh.km parcouru.

Ordres de grandeur issus de la littérature : 0.0 Scénario exploratoire

(Scénario Valet Parking). Pour estimer un ordre de grandeur, on fait l'hypothèse d'un usage de 150 000 km pour un véhicule. Pour les véhicules conventionnels, on fera l'hypothèse qu'1/10 des distances parcourues est réalisé pour la recherche de place (donc 135 000 km pour les déplacements effectifs). Un déplacement moyen parcourt une distance d'environ 25 km. Donc 5400 opérations de stationnement pour toute la durée de vie. Donc 0.036 par km total parcouru. Et on fait une hypothèse d'1/10 de parkings équipés (par opposition aux parkings conventionnels sans valet parking) rencontrés par le véhicule. Donc au total un ordre de grandeur de 0.004 opérations de stationnement dans un parking équipé pour un km parcouru.

Section supprimée de la version provisoire.

AvSpdAutorouteVeh

(km/h) Vitesse moyenne du véhicule autonome étudié dans le contexte autoroutier qu'il traverse.

Ordres de grandeur issus de la littérature : 70.0 Source parc IFSTTAR

Source pour l'estimation (COPERT? IFSTTAR?) A distinguer en plusieurs cas :

Voiture particulière :

urbain - 23km/h, Rural: 56 km/h, Autoroute: 108km/h.

Bus urbain:

urbain - 18km/h, rural: 40 km/h; autoroute - 70 km/h

Car (coach):

urbain - 20km/h, rural: 50 km/h; autoroute - 80 km/h

Section supprimée de la version provisoire.

AvSpdUrbVeh

(km/h) Vitesse moyenne du véhicule autonome étudié dans le contexte urbain qu'il traverse.

Ordres de grandeur issus de la littérature : 23.0 Source parc IFSTTAR

Source pour l'estimation (COPERT? IFSTTAR?) A distinguer en plusieurs cas :

Voiture particulière :

urbain - 23km/h, Rural: 56 km/h, Autoroute: 108km/h.

Bus urbain:

urbain - 18km/h, rural: 40 km/h; autoroute - 70 km/h

Car (coach):

urbain - 20km/h, rural: 50 km/h; autoroute - 80 km/h

Section supprimée de la version provisoire.

AvSpdRuralVeh

(km/h) Vitesse moyenne du véhicule autonome étudié dans le contexte rural qu'il traverse

Ordres de grandeur issus de la littérature : 56.0 Source parc IFSTTAR

Source pour l'estimation (IFSTTAR/COPERT ?) A distinguer en plusieurs cas:

Voiture particulière:

urbain - 23km/h, Rural: 56 km/h, Autoroute: 108km/h.

Bus urbain:

urbain - 18km/h, rural: 40 km/h; autoroute - 70 km/h

Car (coach):

urbain - 20km/h, rural: 50 km/h; autoroute - 80 km/h

Section supprimée de la version provisoire.

AvSpdParkingVeh

(km/h) Vitesse moyenne du véhicule autonome étudié dans les stationnements équipés utilisés par le VA.

Ordres de grandeur issus de la littérature : 10.0 Estimation à partir de limites de vitesse

Section supprimée de la version provisoire.

LSVehPF

(an) Durée de vie du véhicule.

Ordres de grandeur issus de la littérature : 12 Estimation Usage VP

Section supprimée de la version provisoire.

DatakmLoc

(Go/km) Data kilométrique de localisation comprenant la correction RTK, transmis en cellulaire.

Ordres de grandeur issus de la littérature : $9.6E-4 = 1/(150000/12/12)$ Estimation: (1Go de data par mois et utilisation de 150 000 km en 12 ans)

Section supprimée de la version provisoire.

DatakmMap

(Go/km) Data kilométrique de carte HD pour la navigation, transmis en Wifi.

Ordres de grandeur issus de la littérature : $9.4E-4 = 1/(150000/12/12)$ Estimation: (1Go de data par mois et utilisation de 150 000 km en 12 ans)

Section supprimée de la version provisoire.

IHMTemp

(h/j) Temps de communication avec les passagers journalier moyen pour la supervision et gestion du service. Ici assimilée à la durée des incidents.

Ordres de grandeur issus de la littérature : 0.02 Estimation

Section supprimée de la version provisoire.

TaillePKI

(Go) Taille du certificat PKI pour les objets connectés.

Ordres de grandeur issus de la littérature : $6.4E-8$ Hypothèse: niveau de sécurité 256-bit ECDSA (donc $3,2E-8$ Go). Et la taille de la clé est deux fois plus grande que le niveau de sécurité exigé. Donc ($6,4E-8$ Go)

Section supprimée de la version provisoire.

TailleLog

(Go/j) Volume de données enregistrées dans le log du véhicule autonome pour une journée de roulage.

Ordres de grandeur issus de la littérature : 240.0 Estimation: 4Go/min et 1h de log enregistré.

Section supprimée de la version provisoire.

MKmDrivingTime

(h) Durée moyenne de conduite pour parcourir un Km par le véhicule autonome compte tenu de son usage.

Paramètre dépendant, égal à : $\text{PartAutoroute}/\text{AvSpdAutorouteVeh} + \text{PartUrb}/\text{AvSpdUrbVeh} + \text{PartRural}/\text{AvSpdRuralVeh} + \text{PartParking}/\text{AvSpdParkingVeh}$

DureeMoyPKI

(h) Durée de vie moyenne d'un PKI lors d'un déplacement pour un véhicule donné. (Remarque : Ne peut pas être nul (sinon division par 0 dans le modèle)).

Ordres de grandeur issus de la littérature : 1.0 Estimation : référence projet SCOOP

Section supprimée de la version provisoire.

DataTempCPMDL

(Go/h) Informations globales téléchargées (DL pour DownLoad) via Cloud concernant l'infrastructure (incidents, trafic,...) par h de roulage, pouvant intégrer les données partagées par d'autres véhicules lorsque la communication V2V procède par réseau de communication de longue portée.

Ordres de grandeur issus de la littérature : 0,001-0,010Go/h à partir d'apps de navigation.

Section supprimée de la version provisoire.

DataTempsIHM

(Go/h) Intensité data transmise pour la communication avec les passagers : incluant la voix sur IP ainsi que les informations voyageurs ou itinéraires alternatifs en cas de besoin.

Ordres de grandeur issus de la littérature : 0.03 Estimation à partir de consommation d'app VOIP 1-10Mo/h estimation à partir de consommations d'apps de Navigation

Section supprimée de la version provisoire.

4.3.2 Supervision

4.3.2.1 Composant

RAS

4.3.2.2 Architecture

PersonnelOperationVeh

(nb) Nombre de personnes affectées à l'opération du service autonome par véhicule.

Ordres de grandeur issus de la littérature : Scénario exploratoire : 0 (on étudie le système technique, l'opération du service est hors périmètre).

Section supprimée de la version provisoire.

PersonnelMonitorVeh

(nb) Nombre de personnes affectées au monitoring d'un véhicule autonome.

Ordres de grandeur issus de la littérature : 0.2 Estimation: 1 personne/5 véhicules

Section supprimée de la version provisoire.

NbCamSup

(nb/h) Nombre moyen par heure de roulage de caméras actives du véhicule (intérieures ou extérieures) transmettant au centre de supervision pour la télésurveillance.

Ordres de grandeur issus de la littérature : Estimation: 1 caméra active lors du roulage.

Section supprimée de la version provisoire.

4.3.2.3 Cas d'usage

DataTempOper

(Go/h) Données pour l'opération du service générées et transmises par le véhicule au centre de supervision. Les données remontées depuis le véhicule couvrent : les KPI de fonctionnement, les informations de mission, éventuellement les demandes d'arrêt et la validation des titres de transport.

Ordres de grandeur issus de la littérature : Estimation: 0.00 Go/h (hors périmètre pour l'ACV systèmes techniques)

Section supprimée de la version provisoire.

DataTempsVideo

(Go/h) Intensité data de vidéo transmise en streaming.

Ordres de grandeur issus de la littérature : Estimation: 900Mo/h (Données Netflix pour Low Quality) Estimation Full HD – 30 fps – H.264 Base-High quality – 1 MB/s (3.6GB/h). Estimation UHD 4K – 60fps – H.264 Base-high quality – 7.9MB/s (28.44GB/h) via cctvcalculator.net

Section supprimée de la version provisoire.

DataTempMonitor

(Go/h) Données pour le monitoring du véhicule générées et transmises par le véhicule au centre de supervision et au TechAD provider.

Ordres de grandeur issus de la littérature : $0.045=0.1/8*60*60/1000$ Heinrich 2017 (<0.1Mb/s/capteur telemetrie) -> Reboucler avec Cisco "Driven Hour" 2019

Section supprimée de la version provisoire.

Eléments n'ayant pas été modélisés et caractérisés par les paramètres suivant (non implémentés dans le modèle) :

DataTempMaaS

(Go/h) Données pour l'intégration du service dans l'offre MaaS générées et transmise par le véhicule à l'agrégateur MaaS.

Ordres de grandeur issus de la littérature : 0.045 Estimation à partir de « Données du VA » - position

Section supprimée de la version provisoire.

DataTempOperDL

(Go/h) Données pour l'opération du service générées et transmises par le centre de supervision au véhicule. Il s'agit des ordres de mission en fonctionnement normal et de commandes pour la téléopération ou validation des manoeuvres en cas d'incident.

Ordres de grandeur issus de la littérature : 0.045 Estimation à partir de « Données du VA » - position

Section supprimée de la version provisoire.

DataTempFOTA

(Go/h) Mise à jour du logiciel d'automatisation du véhicule reçues par le véhicule depuis les serveurs du TechADProvider.

Ordres de grandeur issus de la littérature :

Section supprimée de la version provisoire.

PersonnelRoamVeh

(nb) Nombre de personnes des équipes d'intervention sur le terrain ramené à un véhicule de la flotte.

Ordres de grandeur issus de la littérature :

Section supprimée de la version provisoire.

HMIroamVeh

(nb) Nombre de tablettes numériques connectées au FMS équipant les équipes d'intervention sur le terrain ramenés à un véhicule de la flotte.

Ordres de grandeur issus de la littérature :

Section supprimée de la version provisoire.

VehRoamVeh

(nb) Nombre de véhicules des équipes d'intervention sur le terrain.

Ordres de grandeur issus de la littérature :

Section supprimée de la version provisoire.

4.3.3 Infrastructure

4.3.3.1 Composant

RSUWeight

(kg) Poids de l'unité de bord de route permettant la communication de courte portée, débarquée.

Ordres de grandeur issus de la littérature : 2.2 Estimation: reprise de la valeur pour l'OBUE. Valeur à trouver à partir de refs techniques: (Référence poids: Neavia Lacroix)

Section supprimée de la version provisoire.

RSUPower

(W) Puissance électrique de l'unité de communication de courte portée débarquée.

Ordres de grandeur issus de la littérature : 15.0 Estimation : reprise de la valeur pour l'OBUE. Valeur à trouver à partir de refs techniques : Neavia Lacroix.

Section supprimée de la version provisoire.

LSRSU

(an) Durée de vie des unités de bord de route. (Remarque : Valeur >0 (sinon division par 0)).

LS (Lifespan): comprendre: MTTF (mean time to failure) ou MTBR (mean time between replacements) pour non réparables / nombre d'heures de fonctionnement annuels.

"Dedicated Short Range Communications Roadside Unit Specifications", April 28, 2017, US Department of Transportation: MTBF 100 000 heures. Clarifier si réparation ou remplacement. Ici hypothèse de remplacement. Et fonctionnement 24h 365 jours/an donc durée de vie = 11.4ans

Ordres de grandeur issus de la littérature : 11.4 Estimation basée sur « DSRC RSU Specifications, US Dep of Transportation » - 100 000h

Section supprimée de la version provisoire.

RSCameraWeight

(kg) Poids de la caméra débarquée, hors calculateur associé éventuel.

Ordres de grandeur issus de la littérature : 1 Estimation

Section supprimée de la version provisoire.

RSCameraPower

(W) Puissance électrique de la caméra débarquée, hors calculateur associé éventuel.

Ordres de grandeur issus de la littérature : 15 Estimation

Section supprimée de la version provisoire.

LSRSCamera

(an) Durée de vie des caméras débarquées. (Remarque : Valeur >0 (sinon division par 0)).

LS (Lifespan): comprendre: MTTF (mean time to failure) ou MTBR (mean time between replacements) pour non réparables / nombre d'heures de fonctionnement annuels.

Ordres de grandeur issus de la littérature : Estimation: 10 ans car équipement de l'infrastructure

Section supprimée de la version provisoire.

RSLidarWeight

(kg) Poids du LiDAR débarqué, hors calculateur associé éventuel.

Ordres de grandeur issus de la littérature : 0.925 Velodyne Intelligent Infrastructure Solution Installation Guide – Lidar sensor specs

Section supprimée de la version provisoire.

RSLidarPower

(W) Puissance électrique du LiDAR débarqué, hors calculateur associé éventuel.

Ordres de grandeur issus de la littérature : 10 Velodyne Intelligent Infrastructure Solution Installation Guide – Lidar sensor specs

Section supprimée de la version provisoire.

LSRSLidar

(an) Durée de vie des LiDARs fixes (débarqués). (Remarque : Valeur >0 (sinon division par 0)).

LS (Lifespan): comprendre: MTTF (mean time to failure) ou MTBR (mean time between replacements) pour non réparables / nombre d'heures de fonctionnement annuels.

Ordres de grandeur issus de la littérature : Estimation: 10 ans.

Section supprimée de la version provisoire.

RSCalculatorWeight

(kg) Poids du calculateur associé aux équipements de perception débarquée (dans une architecture de traitement de données décentralisée).

Ordres de grandeur issus de la littérature : 4.4 Velodyne Intelligent Infrastructure Solution Installation Guide – Edge Box specs

Section supprimée de la version provisoire.

RSCalculatorPower

(W) Puissance électrique du calculateur associé aux équipements de perception débarquée (dans le cas d'une architecture de traitement décentralisée).

Ordres de grandeur issus de la littérature : 60 (15 idle) Velodyne Intelligent Infrastructure Solution Installation Guide – Edge Box specs

Section supprimée de la version provisoire.

Estimation de la puissance moyenne à la journée :

- Hypothèse de la puissance de calcul proportionnelle au flux de véhicules : la puissance totale est égale à la « part fixe » de 15W (mode idle) + « part variable » proportionnelle au flux de véhicules. Au maximum, à l'HPS, part variable égale à 60-15=45W.
- Hypothèse de variation du flux de véhicules des insertions de voies rapides identique à la variation du flux sur l'ensemble du réseau :

| Période | Durée période (h) | Rapport au flux à l'HPS | Part variable puissance calculateur Lidar (45*rapport à l'HPS) | Energie totale consommée sur la période (durée*(15+part variable)) |
|---------|-------------------|-------------------------|--|--|
| 6-7 | 1 | 0,50 | 22,5 | 37,5 |
| 7-9 | 2 | 1,00 | 45 | 120 |
| 9-16 | 7 | 0,50 | 22,5 | 262,5 |
| 16-19 | 3 | 1,00 | 45 | 180 |
| 19-22 | 3 | 0,33 | 15 | 90 |
| 22-6 | 8 | 0,04 | 1,875 | 135 |

Energie totale consommée sur la journée : 825Wh. Puissance moyenne résultante (division par 24)=34W.

LSRSCalculator

(an) Durée de vie des calculateurs associés aux équipements de perception débarquée (dans une architecture de traitement de données décentralisée). (Remarque : Valeur >0 (sinon division par 0)).

LS (Lifespan): comprendre: MTTF (mean time to failure) ou MTBR (mean time between replacements) pour non réparables / nombre d'heures de fonctionnement annuels.

Ordres de grandeur issus de la littérature : MTBF : 280 000 h à 25°C = 32 ans Velodyne Intelligent Infrastructure Solution Installation Guide – Edge Box specs. Cependant le fonctionnement n'est pas à 25°C – estimation 10 ans

Section supprimée de la version provisoire.

CentrCalcWeight

(kg) Poids du calculateur centralisé permettant le traitement des données issues de la perception débarquée.

Ordres de grandeur issus de la littérature : Estimation d'un ordre de grandeur: 5 kg, valeur à trouver.

Section supprimée de la version provisoire.

CentrCalcPower

(W) Puissance électrique du calculateur centralisé permettant le traitement des données issues de la perception débarquée.

Ordres de grandeur issus de la littérature : Estimation d'un ordre de grandeur : 1500, valeur à trouver. A comparer avec EnergyDataDataCentre – facteur 100 à 1000...

Section supprimée de la version provisoire.

LSCentrCalc

(an) Durée de vie du calculateur centralisé permettant le traitement des données issues de la perception débarquée (dans une architecture de traitement de données centralisée). (Remarque : Valeur >0 (car sinon division par 0)).

LS (Lifespan): comprendre: MTTF (mean time to failure) ou MTBR (mean time between replacements) pour non réparables / nombre d'heures de fonctionnement annuels.

Pas de données précises mais pratiques de remplacements pour garantir la performance entre 3-5 ans. Meilleures pratiques entre 6-10 ans.

Ordres de grandeur issus de la littérature : Estimation: 5 ans.

Section supprimée de la version provisoire.

CentrAgregWeight

(kg) Poids du serveur agrégateur centralisé permettant la mise à disposition des données issues de la perception débarquée.

Ordres de grandeur issus de la littérature : Estimation d'un ordre de grandeur: 3 kg, valeur à trouver.

Section supprimée de la version provisoire.

CentrAgregPower

(W) Puissance électrique du serveur agrégateur centralisé permettant la mise à disposition des données issues de la perception débarquée.

Ordres de grandeur issus de la littérature : Estimation d'un ordre de grandeur : 500, valeur à trouver. A comparer avec EnergyDataDataCentre – facteur 100 à 1000...

Section supprimée de la version provisoire.

LSCentrAgreg

(an) Durée de vie du serveur agrégateur centralisé permettant la mise à disposition des données issues de la perception débarquée. (Remarque : Valeur >0 (car sinon division par 0)).

LS (Lifespan): comprendre: MTTF (mean time to failure) ou MTBR (mean time between replacements) pour non réparables / nombre d'heures de fonctionnement annuels.

Pas de données précises mais pratiques de remplacements pour garantir la performance entre 3-5 ans. Meilleures pratiques entre 6-10 ans.

Ordres de grandeur issus de la littérature : Estimation : 5 ans.

Section supprimée de la version provisoire.

EnergyDataCellular

(kWh/Go) Electricité consommée en moyenne par les antennes relais pour le transfert d'un Go de données en fonctionnement nominal du réseau de télécommunications utilisé par le service de mobilité autonome.

Ordres de grandeur issus de la littérature : 0.1622 Source : CEET « The Power of Wireless Cloud » 2013 73 μ J/bit

Section supprimée de la version provisoire.

Conversion micro-Joules en kWh:

$73 \mu\text{J/bit} \rightarrow 73 * 8 * 10^9 \mu\text{J/Go} = 73 * 8 * 10^9 * 10^{-6} \text{J/Go} = 73 * 8 * 10^9 * 10^{-6} / (3.6 * 10^6) \text{ kWh/Go} = 73 * 8 / 3.6 * 10^{-3} \text{ kWh/Go}$

EnergyDataNetwork

(kWh/Go) Electricité consommée en moyenne par le réseau filaire pour la transmission d'un Go de données en fonctionnement nominal du réseau de télécommunications utilisé par le service de mobilité autonome.

Ordres de grandeur issus de la littérature : 0.001422 Source: CEET « The Power of Wireless Cloud » 2013 0.64 μ J/bit $0.64 * 8 / 3.6 * 10^{-3}$

Section supprimée de la version provisoire.

EnergyDataDataCentre

(kWh/Go) Electricité consommée en moyenne par les data centres pour le traitement d'un Go de données.

Ordres de grandeur issus de la littérature : 0.044 Source: CEET « The Power of Wireless Cloud » 2013
 $20 \mu\text{J}/\text{bit} \rightarrow 20 * 8 / 3.6 * 10^{-3}$

Section supprimée de la version provisoire.

Paramètres non implémentés dans le modèle :

CentrStockWeight

(kg) Poids du serveur centralisé permettant le stockage des données et des informations issues de la perception débarquée.

Ordres de grandeur issus de la littérature :

Section supprimée de la version provisoire.

CentrStockPower

(W) Puissance électrique du serveur centralisé permettant le stockage des données et des informations issues de la perception débarquée.

Ordres de grandeur issus de la littérature : Estimation d'un ordre de grandeur : 1500, valeur à trouver

Section supprimée de la version provisoire.

LSCentrStock

(an) Durée de vie du serveur centralisé permettant le stockage des données et des informations issues de la perception débarquée. (Remarque : Valeur >0 (car sinon division par 0)).

LS (Lifespan): comprendre: MTTF (mean time to failure) ou MTBR (mean time between replacements) pour non réparables / nombre d'heures de fonctionnement annuels.

Pas de données précises mais pratiques de remplacements pour garantir la performance entre 3-5 ans. Meilleures pratiques entre 6-10 ans.

Ordres de grandeur issus de la littérature : Estimation: 5 ans.

Section supprimée de la version provisoire.

4.3.3.2 Architecture

DensLinCTLightsAutoroute

(nb/km) Densité linéaire moyenne de feux connectés sur les infrastructures autoroutières qu'empruntera le véhicule autonome.

Ordres de grandeur issus de la littérature :

Section supprimée de la version provisoire.

Estimation réalisée via un outil SIG à partir du réseau routier sur la CAPS de Paris-Saclay par Mwendwa Kiko : entre 1500 et 1800 km de voies. En approximant le réseau par une grille régulière sur un carré de 200 km², il y a alors entre $(1500/(200^{(0.5)*2}))^2=2813$ et $(1800/(200^{(0.5)*2}))^2=4050$ intersections au total pour 1500 à 1800 km de routes donc une densité moyenne d'intersections entre $2813/1500=1.875$ et $4050/1800=2.25$. L'hypothèse d'une intersection sur 20 équipée d'un feu semble faible.

DensLinCTLightsUrb

(nb/km) Densité linéaire moyenne de contrôleurs de carrefours connectés sur les infrastructures urbaines empreintées par le véhicule autonome.

Ordres de grandeur issus de la littérature :

Section supprimée de la version provisoire.

DensLinCTLightsRural

(nb/km) Densité linéaire moyenne de contrôleurs de carrefours connectés sur les infrastructures rurales qu'empruntera le véhicule autonome.

Ordres de grandeur issus de la littérature :

Section supprimée de la version provisoire.

DensCTLightsPark

(nb/place) Densité moyenne de barrières connectées par place de stationnement dans les parkings équipés qu'utilisera le véhicule autonome.

Ordres de grandeur issus de la littérature :

Section supprimée de la version provisoire.

DensLinRSUAutoroute

(nb/km) Densité linéaire moyenne d'UBRs sur les infrastructures autoroutières qu'empruntera le véhicule autonome.

Ordres de grandeur issus de la littérature :

Section supprimée de la version provisoire.

DensLinRSUUrb

(nb/km) Densité linéaire moyenne d'UBRs sur les infrastructures urbaines qu'empruntera le véhicule autonome.

Ordres de grandeur issus de la littérature :

Section supprimée de la version provisoire.

DensLinRSURural

(nb/km) Densité linéaire moyenne d'UBRs sur les infrastructures rurales qu'empruntera le véhicule autonome.

Ordres de grandeur issus de la littérature :

Section supprimée de la version provisoire.

DensRSUPark

(nb/place) Densité moyenne d'UBRs par place de stationnement dans les parkings équipés qu'utilisera le véhicule autonome.

Ordres de grandeur issus de la littérature :

Section supprimée de la version provisoire.

DensLinUBRTot

(nb/km) Densité linéaire totale de tous les UBRs rencontrés sur le parcours du véhicule autonome.

Paramètre dépendant, égal à :

$\text{PartUrb} * \text{DensLinRSUUrb} + \text{PartRural} * \text{DensLinRSURural} + \text{PartAutoroute} * \text{DensLinRSUAutoroute} + \text{ParkingRate} * \text{DensRSUPark}$

PartRSUFibre

(N/A) Part des UBR du territoire raccordés par câble ou fibre (par opposition à réseau cellulaire) au centre de gestion/supervision. (Remarque : Peut prendre des valeurs entre 0 et 1 compris).

Ordres de grandeur issus de la littérature : 1.0 Scénario exploratoire

Section supprimée de la version provisoire.

DensLinRSCameraAutoroute

(nb/km) Densité linéaire moyenne des caméras débarquées sur les infrastructures autoroutières qu'empruntera le véhicule autonome.

Ordres de grandeur issus de la littérature :

Section supprimée de la version provisoire.

DensLinRSCameraUrb

(nb/km) Densité linéaire moyenne des caméras connectées sur les infrastructures urbaines empruntées par le véhicule autonome.

Ordres de grandeur issus de la littérature :

Section supprimée de la version provisoire.

DensLinRSCameraRural

(nb/km) Densité linéaire moyenne des caméras débarquées sur les infrastructures rurales qu'empruntera le véhicule autonome.

Ordres de grandeur issus de la littérature :

Section supprimée de la version provisoire.

DensRSCameraPark

(nb/place) Densité moyenne des caméras débarquées par place de stationnement dans les parkings équipés qu'utilisera le véhicule autonome.

Ordres de grandeur issus de la littérature :

Section supprimée de la version provisoire.

DensLinRSLiDARAutoroute

(nb/km) Densité linéaire moyenne des LiDARs fixes sur les infrastructures autoroutières qu'empruntera le véhicule autonome.

Ordres de grandeur issus de la littérature :

Section supprimée de la version provisoire.

DensLinRSLiDARUrb

(nb/km) Densité linéaire moyenne de LiDARs fixes sur les infrastructures urbaines qu'empruntera le véhicule autonome.

Ordres de grandeur issus de la littérature :

Section supprimée de la version provisoire.

DensLinRSLiDARRural

(nb/km) Densité linéaire moyenne des LiDARs fixes sur les infrastructures rurales qu'empruntera le véhicule autonome.

Ordres de grandeur issus de la littérature :

Section supprimée de la version provisoire.

DensRSLiDARPark

(nb/place) Densité moyenne de LiDARs fixes par place de stationnement dans les parkings équipés qu'utilisera le véhicule autonome.

Ordres de grandeur issus de la littérature :

Section supprimée de la version provisoire.

CentrCalcNb

(nb) Nombre de calculateurs nécessaires dans l'architecture centralisée de traitement des données issues de la perception débarquée.

Ordres de grandeur issus de la littérature : 2.0 Estimation : besoin de redondance pour la sécurité

Section supprimée de la version provisoire.

CentrAgregNb

(nb) Nombre de serveurs agrégateurs constituant la plate-forme I2V nécessaires dans l'architecture centralisée de mise à disposition des données issues de la perception débarquée.

Ordres de grandeur issus de la littérature : 2.0 Estimation : besoin de redondance pour la sécurité

Section supprimée de la version provisoire.

Paramètres non implémentés

CentrStockNb

(nb) Nombre de serveurs de stockage nécessaires dans l'architecture centralisée de traitement des données issues de la perception débarquée.

Ordres de grandeur issus de la littérature :

Section supprimée de la version provisoire.

4.3.3.3 Cas d'usage

RSCameraMut

(N/A) Indicateur de mutualisation des caméras débarquées par l'ensemble du trafic :

1-Les caméras débarquées sont mutualisées (dans tous les contextes empruntés par le véhicule) par l'ensemble des usagers de la route, qu'il s'agisse de véhicules autonomes, connectés ou conventionnels

0-Les caméras débarquées sont dédiées à la mobilité autonome (dans tous les contextes empruntés par le véhicule autonome)

Ordres de grandeur issus de la littérature :

Section supprimée de la version provisoire.

RSLiDARMut

(N/A) Indicateur de mutualisation des LiDARs débarqués par l'ensemble du trafic :

1-Les LiDARs débarquées sont mutualisées (dans tous les contextes empruntés par le véhicule) par l'ensemble des usagers de la route, qu'il s'agisse de véhicules autonomes, connectés ou conventionnels

0-Les LiDARs débarquées sont dédiées à la mobilité autonome (dans tous les contextes empruntés par le véhicule autonome)

Ordres de grandeur issus de la littérature :

Section supprimée de la version provisoire.

CentrCalcMut

(nb) Nombre d'équipements (quelque soit le type d'équipement de perception) desservis par le calculateur centralisé. Caractérise la mutualisation du calculateur centralisé permettant le traitement par l'IA des données issues de la perception débarquée. (Remarque : Ne peut pas être nul sinon division par 0 dans le modèle).

Ordres de grandeur issus de la littérature :

Section supprimée de la version provisoire.

CentrAgregMut

(nb) Nombre d'équipements (caméras, Lidars débarquées) desservis par le serveur agrégateur centralisé. Caractérise la mutualisation du serveur agrégateur centralisé permettant la mise à disposition des données issues de la perception débarquée. (Remarque : Ne peut pas être nul sinon division par 0 dans le modèle).

Ordres de grandeur issus de la littérature :

Section supprimée de la version provisoire.

MHTServiceAutoroute

(veh/h) Débit horaire moyen (annuel) du service autonome étudié dans le contexte autoroutier.
(Remarque : Ne peut pas être nul (car sinon division par 0 dans le modèle)).

On peut estimer cette grandeur en divisant le nombre total de veh.km parcourus annuellement par le nombre de kilomètres d'infrastructure empreintée par le service autonome puis diviser par $365*24$ pour passer au débit horaire. On peut également partir de la table horaire des passages (dans les deux sens) du service ou de sa fréquence pour déterminer le nombre moyen de passages par heure réelle (pas par heure de fonctionnement pur car côté impacts on calcule les impacts annuels totaux).

Ordres de grandeur issus de la littérature :

Section supprimée de la version provisoire.

MHTServiceUrb

(veh/h) Débit horaire moyen (annuel) du service autonome étudié dans le contexte urbain dans les deux sens. (Remarque : Ne peut pas être nul (car sinon division par 0 dans le modèle)).

On peut estimer cette grandeur en divisant le nombre total de veh.km parcourus annuellement par le nombre de kilomètres d'infrastructure empreintée par le service autonome puis diviser par $365*24$ pour passer au débit horaire. On peut également partir de la table horaire des passages (dans les deux sens) du service ou de sa fréquence pour déterminer le nombre moyen de passages par heure réelle (pas par heure de fonctionnement pur car côté impacts on calcule les impacts annuels totaux).

Ordres de grandeur issus de la littérature :

Section supprimée de la version provisoire.

MHTServiceRural

(veh/h) Débit horaire moyen (annuel) du service autonome étudié dans le contexte rural.
(Remarque : Ne peut pas être nul (car sinon division par 0 dans le modèle)).

On peut estimer cette grandeur en divisant le nombre total de veh.km parcourus annuellement par le nombre de kilomètres d'infrastructure empreintée par le service autonome puis diviser par $365*24$ pour passer au débit horaire. On peut également partir de la table horaire des passages (dans les deux sens) du service ou de sa fréquence pour déterminer le nombre moyen de passages par heure réelle (pas par heure de fonctionnement pur car côté impacts on calcule les impacts annuels totaux).

Ordres de grandeur issus de la littérature :

Section supprimée de la version provisoire.

MHTServiceStationnement

(nb stationnement/h) Nombre horaire moyen (annuel) d'opérations de stationnement du véhicule de service autonome sur une place de stationnement équipée. (Remarque : Ne peut pas être nul (car sinon division par 0 dans le modèle)).

Ordres de grandeur issus de la littérature : (scénario valet parking) Pour un ordre de grandeur, on fera une approximation à 1/10 de MHTStationnement (flux environnant de stationnement).

Section supprimée de la version provisoire.

MHTAutoroute

(veh/h) Debit moyen de trafic routier environnant (hors service autonome modélisé) dans les deux sens sur les autoroutes empruntées par le mode autonome.

Ordres de grandeur issus de la littérature : Scénario exploratoire - Lorsque l'infrastructure n'est pas dédiée, le facteur recommandé dans la littérature pour 1 m.an d'infra est de $1.29E-3$ m.an pour 1 veh.km. La quantité annuelle d'infrastructure (par exemple l'entretien d'un m linéaire) est alors divisée par $775E3$ veh.km, c'est-à-dire 775 000 veh.m. Ce qui correspond à un débit moyen de $2/(24*365*1.29E-6)=176.98$ veh/h

Section supprimée de la version provisoire.

Estimation réalisée par Mwendwa Kiko : réseau MODUS sur la CAPS de 731km ; estimation réseau « réel » sur la CAPS entre 1500 et 1800 km. L'estimation des flux sur le réseau MODUS est probablement plus représentative car le réseau non représenté est un réseau de desserte faiblement fréquenté.

| | VKM | Veh/h sur réseau MODUS | Veh/h sur réseau estimé |
|-----|---------|------------------------|-------------------------|
| HPM | 326 419 | 446 veh/h | 180-220 veh/h |
| HPS | 434 791 | 595 veh/h | 240-290 veh/h |

Estimation à la journée :

| Période | Durée période | Rapport au flux à l'HPS |
|---------|---------------|-------------------------|
| 6-7 | 1 | 1/2 |
| 7-9 | 2 | 1 |
| 9-16 | 7 | 1/2 |
| 16-19 | 3 | 1 |
| 19-22 | 3 | 1/3 |
| 22-6 | 8 | 1/24 |

Donc sur la journée $10.33Q_{HPS} = 6146$ veh/jour (pour $Q_{HPS} 595$ veh/h sur le réseau MODUS). Donc en moyenne, par heure : 256 veh/h (100 – 125 veh/h avec le réseau « réel »)

Et on néglige, compte tenu du niveau de précision, les variations à l'année.

MHTUrb

(veh/h) Debit moyen horaire de trafic routier environnant (hors service autonome modélisé) dans les deux sens (le trafic comptabilisé doit correspondre aux équipements de l'infrastructure comptabilisés dans les paramètres de densité) sur les routes urbaines empreintées par le mode autonome.

Ordres de grandeur issus de la littérature : cf MHTAutoroute

Section supprimée de la version provisoire.

MHTRural

(veh/h) Debit moyen de trafic routier environnant (hors service autonome modélisé) dans les deux sens sur les routes rurales empreintées par le mode autonome.

Ordres de grandeur issus de la littérature : cf MHTAutoroute

Section supprimée de la version provisoire.

MHTStationnement

(nb stationnement/h) Nombre horaire moyen environnant (hors service autonome modélisé) d'opérations de stationnement sur une place de stationnement dans un parking équipé.

Ordres de grandeur issus de la littérature : (Scénario Valet Parking) Pour l'estimation d'un ordre de grandeur on suppose que les places de stationnement sont en moyenne occupées à T% (50%) nuit comprise. Et par ailleurs une durée moyenne d'occupation d'une place par un véhicule est de d (2h).
Alors: $MHT_{Stationnement} = T/d = 0,25 \text{ veh/h}$

Section supprimée de la version provisoire.

PartVehConnectes

(N/A) Part de véhicules connectés dans le trafic environnant en dehors du service autonome modélisé.

Ordres de grandeur issus de la littérature : 2.0E-4 Scénario exploratoire

Section supprimée de la version provisoire.

MHSAutoroute

(km/h) Vitesse moyenne (horaire) du trafic environnant en contexte autoroutier. (Remarque : Ne peut pas être nul (car sinon division par 0 dans le modèle)).

Utilisé pour calculer les densités moyennes de véhicules sur les infrastructures.

Ordres de grandeur issus de la littérature : 70.0 Source : parc IFSTTAR ? COPERT ?

Section supprimée de la version provisoire.

MHSUrb

(km/h) Vitesse moyenne (horaire) du trafic environnant en contexte urbain. (Remarque : Ne peut pas être nul (car sinon division par 0 dans le modèle)).

Utilisé pour calculer les densités moyennes de véhicules sur les infrastructures.

Ordres de grandeur issus de la littérature : 23.0 Source : parc IFSTTAR ? COPERT ?

Section supprimée de la version provisoire.

MHSRural

(km/h) Vitesse moyenne (horaire) du trafic environnant en contexte rural. (Remarque : Ne peut pas être nul (car sinon division par 0 dans le modèle)).

Utilisé pour calculer les densités moyennes de véhicules sur les infrastructures.

Ordres de grandeur issus de la littérature : 56.0 Source : parc IFSTTAR ? COPERT ?

Section supprimée de la version provisoire.

MHSStationnement

(km/h) Vitesse moyenne (horaire) du trafic environnant à l'intérieur de parkings équipés. (Remarque : Ne peut pas être nul (car sinon division par 0 dans le modèle)).

Utilisé pour calculer les densités moyennes de véhicules sur les infrastructures.

Ordres de grandeur issus de la littérature : 5 Estimation

Section supprimée de la version provisoire.

DataTempsCTLights

(Go/h) Intensité data transmise depuis un feu connecté vers le centre de traitement des données (dans le cas d'une architecture de traitement centralisée).

Ordres de grandeur issus de la littérature : 0.004 Estimation en considérant 10 messages /s et une taille de message de l'ordre de 100 octets

Section supprimée de la version provisoire.

DataTempsCamera

(Go/h) Intensité data brutes produites par une caméra débarquée fixe ou par une caméra de supervision.

Ordres de grandeur issus de la littérature : 225.0 à 1575 « The driven hour » Cisco

Section supprimée de la version provisoire.

DataTempsLiDAR

(Go/h) Intensité data brutes produites par un LiDAR fixe débarqué.

Ordres de grandeur issus de la littérature : 9.0 – 45 « The driven hour » Cisco – données brutes non traitées

Section supprimée de la version provisoire.

DataTempsTracking

(Go/h) Intensité data des tracking lists (ou autres données) transmises depuis la plateforme I2X (après traitement par l'IA des données issues de la perception débarquée et d'autres capteurs et informations) à chaque UBR.

Ordres de grandeur issus de la littérature : 1.35 Estimation

Section supprimée de la version provisoire.

DatakmCPMUL

(Go/km) Quantité de data de perception générée (cooperative perception message) et envoyée (UL pour up load) par le véhicule par km parcouru.

Ordres de grandeur issus de la littérature : Scénario exploratoire - Dans les XPs il n'y a pas de partage d'informations de perception coopérative, on prend donc ce paramètre à 0. Alternativement on pourrait tester 1MB/km.

Section supprimée de la version provisoire.

4.3.4 Autres paramètres

Paramètres non implémentés :

EfficiencAutonomie

(N/A) Efficience de l'automatisation : kilomètres parcourus en mode automatisé vs kilomètres totaux parcourus pendant la durée de vie du véhicule.

Ordres de grandeur issus de la littérature : On peut l'estimer à partir du taux de désengagement et de la durée moyenne de désengagement et de la vitesse moyenne du véhicule. La fréquence de désengagement est une question de fluidité devant être traitée dans l'évaluation socio-économique.

Taux de désengagement moyen entre 1/16000 km et 1/32000 km. Vitesse moyenne entre 20 et 70km/h. Durée de désengagement moyen entre 6 et 30 min (pas de sources, ce sont des estimations). Donc dans le pire des cas l'autonomie effective est de $16000/(16000+35)$ et dans le meilleur $32000/(32000+2)$ donc entre 0,9978 et 0,9999. A vérifier, ici valeur arbitraire "pire cas" lorsque le véhicule circule uniquement dans son ODD. Mais pour la VP par exemple il faudra inclure le fait que certaines routes seront hors ODD (si l'ODD nécessite un équipement particulier ou une couverture cellulaire particulière) et donc l'usage total de la voiture comportera de fait beaucoup plus de conduite manuelle.

Section supprimée de la version provisoire.

4.4 Construction de l'inventaire

Lors de la construction de l'inventaire, lorsque les données étaient disponibles dans la base ecoinvent 3.6, les providers globaux (GLO) ont été choisis systématiquement. En effet, l'objectif du présent travail est de construire un modèle générique. L'instantiation du modèle impliquera la contextualisation (dans le temps et dans l'espace) des providers également.

Les parties 4.4.1, 4.4.2 et 4.4.3 décrivent en détail la modélisation de l'inventaire pour les trois systèmes – le véhicule, l'infrastructure et la supervision et suivant les trois niveaux de représentation décrits dans la section 3.1 – les composants, l'architecture et le cas d'usage. La description de chaque processus est composée de trois parties :

- (flux de référence) et brève description de l'unité fonctionnelle à laquelle se réfère le processus ;
- Le périmètre de modélisation retenu suite à l'analyse réalisée dans la partie 2.2.3 ainsi qu'une mention, pour chaque élément retenu, de l'avancement de la modélisation ;
- La description contient également les limites de modélisation identifiées à ce stade du travail, des précautions à prendre compte tenu des hypothèses prises ainsi que les pistes d'amélioration de la qualité de modélisation et des données ;
- Enfin la description contient le tableau décrivant les flux d'entrée, les quantités et les providers retenus au sein de la base ecoinvent (et du modèle construit) ;
- Le cas échéant, un deuxième tableau précise les paramètres intrinsèques (locaux) mobilisés et leur valeur.

Afin de faciliter la lecture des résultats d'évaluation environnementale, les phases de production et fin de vie ont été regroupés tandis que la phase de vie en œuvre a été séparée systématiquement. D'autre part, des processus d'agrégation des résultats ont été introduits permettant d'agréger les résultats par sous-systèmes puis systèmes mobilisés pour la mobilité automatisée.

4.4.1 Véhicule

4.4.1.1 Composant

4.4.1.1.1 Production et fin de vie

Camera

(nombre) Contributions liées à la fabrication et fin de vie d'une caméra embarquée, paramétrées par son poids.

Doit inclure :

- Matières premières ->ok, à améliorer (notamment verre)

- Processus de fabrication -> ok, à améliorer
- Transport des matières premières jusqu'au site de production puis des composants finis du site de production vers le site d'assemblage -> pas explicitement, cf hypothèses dans les providers.
- Processus de fin de vie -> non encore modélisé

Limites et précautions:

- Modélisation réalisée à partir de données issues de l'article Gawron et al. 2018. Vérifications des résultats avec ceux de l'article : ordre de grandeur ok sur le changement climatique et énergie totale en phase de production.

- Verre : à vérifier ;

- Plastique : identifier le bon plastique et ajuster les processus de fabrication. Dans la littérature, il n'y a pas d'hypothèses sur la perte de matières premières pendant le processus de fabrication. Cependant, les processus issus d'ecoinvent, précisent des taux qui ont été utilisés dans ce modèle ;

- Electronique :

- PWB. Vérifier la technologie des PWB - through-hole a l'air d'avoir été remplacée par surface mounting. Verifier et ajuster la quantité entre sans et avec Pb. Les distances de transport sont également à vérifier ;

- Power supply estimé en utilisant le processus power supply qui produit une unité qui pèse environ 1,4434kg donc on ramène tout au poids ;

- IC Package - d'après les données de l'article il s'agirait plutôt de memory type mais c'est à vérifier éventuellement ;

- IC Die - le rapport poids/surface est à creuser. La valeur de 1,68 kg/m² a été prise. D'autre part on suppose 15% de perte entre le wafer produit et la quantité de die qui en résulte effectivement ;

- Il manque également le transport depuis le fabricant au lieu d'assemblage ;

- Attention les providers utilisés sont globaux, à ajuster pour la modélisation.

| Flux d'entrée | Quantité | Unité | Provider |
|---|--|-------|--|
| acrylonitrile-butadiène-styrene copolymer | CameraWeight *PlasticFraction /0.994/0.997 | kg | market for acrylonitrile-butadiène-styrene copolymer acrylonitrile-butadiène-styrene copolymer Cutoff, S - GLO |
| blow moulding | CameraWeight *PlasticFraction /0.997 | kg | market for blow moulding blow moulding Cutoff, S - GLO |
| flat glass, coated | CameraWeight *GlassFraction | kg | market for flat glass, coated flat glass, coated Cutoff, S - RoW |
| injection moulding | CameraWeight *PlasticFraction /0.994/0.997 | kg | market for injection moulding injection moulding Cutoff, S - GLO |
| integrated circuit, memory type | CameraWeight *ElectronicsFraction | kg | market for integrated circuit, memory type integrated circuit, memory type Cutoff, S - GLO |

| | | | |
|--|---|----------|--|
| | *ElectronicsICPackageSubfraction | | |
| power supply unit, for desktop computer | (1/1.4434)*CameraWeight *ElectronicsFraction *ElectronicsPowerSupplySubfraction | Item (s) | market for power supply unit, for desktop computer power supply unit, for desktop computer Cutoff, S - GLO |
| printed wiring board, through-hole mounted, unspecified, Pb containing | 0.3*CameraWeight *ElectronicsFraction *ElectronicsPWBSubfraction | kg | market for printed wiring board, through-hole mounted, unspecified, Pb containing printed wiring board, through-hole mounted, unspecified, Pb containing Cutoff, S - GLO |
| printed wiring board, through-hole mounted, unspecified, Pb free | 0.7* CameraWeight *ElectronicsFraction *ElectronicsPWBSubfraction | kg | market for printed wiring board, through-hole mounted, unspecified, Pb free printed wiring board, through-hole mounted, unspecified, Pb free Cutoff, S - GLO |
| wafer, fabricated, for integrated circuit | (1/0.85/1.68)*CameraWeight *ElectronicsFraction *ElectronicsICDieSubfraction | m2 | market for wafer, fabricated, for integrated circuit wafer, fabricated, for integrated circuit Cutoff, S - GLO |

Avec les paramètres suivants, tirés de Gawron et al 2018 :

| | | |
|-----------------------------------|-------|--|
| ElectronicsFraction | 0.46 | Part du poids du capteur alloué aux composants électroniques |
| ElectronicsICDieSubfraction | 0.002 | Part du poids des composants électroniques allouée au IC die, pour un "small board" <0.5kg |
| ElectronicsICPackageSubfraction | 0.02 | Part du poids des composants électroniques allouée au IC package, pour un "small board" <0.5kg |
| ElectronicsPowerSupplySubfraction | 0.2 | Part du poids des composants électroniques allouée au power supply, pour un "small board" <0.5kg |
| ElectronicsPWBSubfraction | 0.778 | Part du poids des composants électroniques allouée au PWB, pour un "small board" <0.5kg |
| GlassFraction | 0.09 | Part du poids du capteur en verre |
| PlasticFraction | 0.45 | Part du poids du capteur en plastiques |

S.LiDAR

(nombre) Contributions liées aux phases de fabrication et fin de vie d'un « petit » LiDAR, paramétrées par son poids.

Doit inclure:

- Matières premières ->ok, à améliorer (notamment terres rares)
- Processus de fabrication -> ok, à améliorer
- Transport des matières premières jusqu'au site de production puis des composants finis du site de production vers le site d'assemblage -> pas explicitement, cf hypothèses dans les providers.
- Processus de fin de vie -> non encore modélisé

Limites et précautions:

- Modélisation réalisées à partir des données issues de l'article Gawron et al. 2018. Reprise du modèle de L.Lidar avec des paramètres différents. Vérifications des résultats par rapport à ceux de

l'article: la comparaison avec la littérature (changement climatique et énergie cumulée) donne des résultats différents mais l'ordre de grandeur est similaire.

- Attention, les providers utilisés sont globaux, à ajuster pour la modélisation.

| Flux d'entrée | Quantité | Unité | Provider |
|--|---|----------------|--|
| acrylonitrile-butadiene-styrene copolymer | SLidarWeight *PlasticFraction /0.994/0.997 | kg | market for acrylonitrile-butadiene-styrene copolymer acrylonitrile-butadiene-styrene copolymer Cutoff, S - GLO |
| aluminium, wrought alloy | SLidarWeight *AluminumFraction | kg | market for aluminium, wrought alloy aluminium, wrought alloy Cutoff, S - GLO |
| blow moulding | SLidarWeight *PlasticFraction /0.997 | kg | market for blow moulding blow moulding Cutoff, S - GLO |
| cable, ribbon cable, 20-pin, with plugs | SLidarWeight *CopperFraction | kg | market for cable, ribbon cable, 20-pin, with plugs cable, ribbon cable, 20-pin, with plugs Cutoff, S - GLO |
| cast iron | SLidarWeight *CastIronFraction | kg | market for cast iron cast iron Cutoff, S - GLO |
| flat glass, coated | SLidarWeight *GlassFraction | kg | market for flat glass, coated flat glass, coated Cutoff, S - RoW |
| injection moulding | SLidarWeight *PlasticFraction /0.994/0.997 | kg | market for injection moulding injection moulding Cutoff, S - GLO |
| integrated circuit, memory type | SLidarWeight *ElectronicsFraction *ElectronicsICPackageSubfraction | kg | market for integrated circuit, memory type integrated circuit, memory type Cutoff, S - GLO |
| metal working, average for aluminium product manufacturing | SLidarWeight *AluminumFraction | kg | market for metal working, average for aluminium product manufacturing metal working, average for aluminium product manufacturing Cutoff, S - GLO |
| power supply unit, for desktop computer | (1/1.4434)*SLidarWeight *ElectronicsFraction *ElectronicsPowerSupplySubfraction | Items | market for power supply unit, for desktop computer power supply unit, for desktop computer Cutoff, S - GLO |
| printed wiring board, through-hole mounted, unspecified, Pb containing | 0.3*SLidarWeight *ElectronicsFraction *ElectronicsPWBSubfraction | kg | market for printed wiring board, through-hole mounted, unspecified, Pb containing printed wiring board, through-hole mounted, unspecified, Pb containing Cutoff, S - GLO |
| printed wiring board, through-hole mounted, unspecified, Pb free | 0.7*SLidarWeight *ElectronicsFraction *ElectronicsPWBSubfraction | kg | market for printed wiring board, through-hole mounted, unspecified, Pb free printed wiring board, through-hole mounted, unspecified, Pb free Cutoff, S - GLO |
| samarium europium gadolinium concentrate, 94% rare earth oxide | SLidarWeight *RareEarthFraction | kg | market for samarium europium gadolinium concentrate, 94% rare earth oxide samarium europium gadolinium concentrate, 94% rare earth oxide Cutoff, S - GLO |
| sheet rolling, aluminium | SLidarWeight *AluminumFraction | kg | market for sheet rolling, aluminium sheet rolling, aluminium Cutoff, S - GLO |
| wafer, fabricated, for integrated circuit | (1/0.85/1.68)*SLidarWeight *ElectronicsFraction *ElectronicsICDieSubfraction | m ² | market for wafer, fabricated, for integrated circuit wafer, fabricated, for integrated circuit Cutoff, S - GLO |

Avec les paramètres suivants, tirés de Gawron et al 2018 :

| | | |
|------------------|------|---------------------------------------|
| AluminumFraction | 0.6 | Part du poids du capteur en aluminium |
| CastIronFraction | 0.01 | Part du poids du capteur en fonte(?) |
| CopperFraction | 0.01 | Part du poids du capteur en cuivre |

| | | |
|-----------------------------------|-------|--|
| ElectronicsFraction | 0.12 | Part du poids du capteur alloué aux composants électroniques |
| ElectronicsICDieSubfraction | 0.002 | Part du poids des composants électroniques allouée au IC die, pour un "small board" <0.5kg |
| ElectronicsICPackageSubfraction | 0.02 | Part du poids des composants électroniques allouée au IC package, pour un "small board" <0.5kg |
| ElectronicsPowerSupplySubfraction | 0.202 | Part du poids des composants électroniques allouée au power supply, pour un "small board" <0.5kg |
| ElectronicsPWBSubfraction | 0.778 | Part du poids des composants électroniques allouée au PWB, pour un "small board" <0.5kg |
| GlassFraction | 0.08 | Part du poids du capteur en verre |
| PlasticFraction | 0.17 | Part du poids du capteur en plastiques |
| RareEarthFraction | 0.01 | Part du poids du capteur en terres rares |

L.LIDAR

(nombre) Contributions liées à la fabrication et fin de vie d'un « grand » LiDAR, paramétrées par son poids.

Doit inclure:

- Matières premières ->ok, à améliorer (notamment terres rares)
- Processus de fabrication -> ok, à améliorer
- Transport des matières premières jusqu'au site de production puis des composants finis du site de production vers le site d'assemblage -> pas explicitement, cf hypothèses dans les providers.
- Processus de fin de vie -> non modélisé

Limites et précautions :

- Modélisation réalisée à partir de l'article de Gawron et al. 2018. Vérification des résultats par rapport à ceux de l'article: il y a des écarts relativement importants mais l'ordre de grandeur est le même pour le CO2 et l'énergie primaire. On reprend les matières utilisées pour la modélisation de l'ordinateur. Donc les écarts sur les résultats sont similaires (cf Computer).
- Attention, les providers sont globaux, à ajuster pour la modélisation.

| Flux d'entrée | Quantité | Unité | Provider |
|---|--|-------|--|
| acrylonitrile-butadiene-styrene copolymer | LLidarWeight *PlasticFraction /0.994/0.997 | kg | market for acrylonitrile-butadiene-styrene copolymer acrylonitrile-butadiene-styrene copolymer Cutoff, S - GLO |
| aluminium, wrought alloy | LLidarWeight *AluminumFraction | kg | market for aluminium, wrought alloy aluminium, wrought alloy Cutoff, S - GLO |
| blow moulding | LLidarWeight *PlasticFraction /0.997 | kg | market for blow moulding blow moulding Cutoff, S - GLO |
| cable, ribbon cable, 20-pin, with plugs | LLidarWeight *CopperFraction | kg | market for cable, ribbon cable, 20-pin, with plugs cable, ribbon cable, 20-pin, with plugs Cutoff, S - GLO |
| cast iron | LLidarWeight *CastIronFraction | kg | market for cast iron cast iron Cutoff, S - GLO |
| flat glass, coated | LLidarWeight *GlassFraction | kg | market for flat glass, coated flat glass, coated Cutoff, S - RoW |
| injection moulding | LLidarWeight *PlasticFraction /0.994/0.997 | kg | market for injection moulding injection moulding Cutoff, S - GLO |

| | | | |
|--|---|----------|--|
| integrated circuit, memory type | LLidarWeight *ElectronicsFraction *ElectronicsICPackageSubfraction | kg | market for integrated circuit, memory type integrated circuit, memory type Cutoff, S - GLO |
| metal working, average for aluminium product manufacturing | LLidarWeight *AluminumFraction | kg | market for metal working, average for aluminium product manufacturing metal working, average for aluminium product manufacturing Cutoff, S - GLO |
| power supply unit, for desktop computer | (1/1.4434)*LLidarWeight *ElectronicsFraction *ElectronicsPowerSupplySubfraction | Item (s) | market for power supply unit, for desktop computer power supply unit, for desktop computer Cutoff, S - GLO |
| printed wiring board, through-hole mounted, unspecified, Pb containing | 0.3*LLidarWeight *ElectronicsFraction *ElectronicsPWBSubfraction | kg | market for printed wiring board, through-hole mounted, unspecified, Pb containing printed wiring board, through-hole mounted, unspecified, Pb containing Cutoff, S - GLO |
| printed wiring board, through-hole mounted, unspecified, Pb free | 0.7*LLidarWeight *ElectronicsFraction *ElectronicsPWBSubfraction | kg | market for printed wiring board, through-hole mounted, unspecified, Pb free printed wiring board, through-hole mounted, unspecified, Pb free Cutoff, S - GLO |
| samarium europium gadolinium concentrate, 94% rare earth oxide | LLidarWeight *RareEarthFraction | kg | market for samarium europium gadolinium concentrate, 94% rare earth oxide samarium europium gadolinium concentrate, 94% rare earth oxide Cutoff, S - GLO |
| sheet rolling, aluminium | LLidarWeight *AluminumFraction | kg | market for sheet rolling, aluminium sheet rolling, aluminium Cutoff, S - GLO |
| wafer, fabricated, for integrated circuit | (1/0.85/1.68)*LLidarWeight *ElectronicsFraction *ElectronicsICDieSubfraction | m2 | market for wafer, fabricated, for integrated circuit wafer, fabricated, for integrated circuit Cutoff, S - GLO |

Avec les paramètres suivants, tirés de Gawron et al 2018 :

| | | |
|-----------------------------------|-------|--|
| AluminumFraction | 0.61 | Part du poids du capteur en aluminium |
| CastIronFraction | 0.07 | Part du poids du capteur en fonte(?) |
| CopperFraction | 0.06 | Part du poids du capteur en cuivre |
| ElectronicsFraction | 0.05 | Part du poids du capteur alloué aux composants électroniques |
| ElectronicsICDieSubfraction | 0.001 | Part du poids des composants électroniques allouée au IC die, pour un "medium board" 0.5kg<X<1kg |
| ElectronicsICPackageSubfraction | 0.033 | Part du poids des composants électroniques allouée au IC package, pour un "medium board" 0.5kg<X<1kg |
| ElectronicsPowerSupplySubfraction | 0.553 | Part du poids des composants électroniques allouée au power supply, pour un "medium board" 0.5kg<X<1kg |
| ElectronicsPWBSubfraction | 0.413 | Part du poids des composants électroniques allouée au PWB, pour un "medium board" 0.5kg<X<1kg |
| GlassFraction | 0.05 | Part du poids du capteur en verre |
| PlasticFraction | 0.07 | Part du poids du capteur en plastiques |
| RareEarthFraction | 0.06 | Part du poids du capteur en terres rares |

Sonar

(nombre) Contributions liées à la fabrication et fin de vie d'un capteur ultra-sons, paramétrées par son poids.

Doit inclure:

- Matières premières ->ok, à améliorer
- Processus de fabrication -> ok, à améliorer

- Transport des matières premières jusqu'au site de production puis des composants finis du site de production vers le site d'assemblage -> pas explicitement, cf hypothèses dans les providers.
- Processus de fin de vie -> non modélisé

Limites et précautions :

- Modélisation réalisée à partir des données issues de l'article de Gawron et al. 2018. Vérification des résultats par rapport aux résultats de l'article : ordre de grandeur ok sur le changement climatique et énergie primaire (un peu moins) en phase de production. Les hypothèses sur les matériaux et les processus de fabrication ont été reprise à partir de celles faites pour la caméra. Donc s'il y a des modifications pour la caméra, il faut harmoniser ici.
- Attention les providers utilisés sont globaux, à ajuster éventuellement pour la modélisation.

| Flux d'entrée | Quantité | Unité | Provider |
|--|--|----------------|--|
| acrylonitrile-butadiene-styrene copolymer | SonarWeight *PlasticFraction /0.994/0.997 | kg | market for acrylonitrile-butadiene-styrene copolymer acrylonitrile-butadiene-styrene copolymer Cutoff, S - GLO |
| blow moulding | SonarWeight *PlasticFraction /0.997 | kg | market for blow moulding blow moulding Cutoff, S - GLO |
| injection moulding | SonarWeight *PlasticFraction /0.994/0.997 | kg | market for injection moulding injection moulding Cutoff, S - GLO |
| integrated circuit, memory type | SonarWeight *ElectronicsFraction *ElectronicsICPackageSubfraction | kg | market for integrated circuit, memory type integrated circuit, memory type Cutoff, S - GLO |
| power supply unit, for desktop computer | (1/1.4434)*SonarWeight *ElectronicsFraction *ElectronicsPowerSupplySubfraction | Item (s) | market for power supply unit, for desktop computer power supply unit, for desktop computer Cutoff, S - GLO |
| printed wiring board, through-hole mounted, unspecified, Pb containing | 0.3*SonarWeight *ElectronicsFraction *ElectronicsPWBSubfraction | kg | market for printed wiring board, through-hole mounted, unspecified, Pb containing printed wiring board, through-hole mounted, unspecified, Pb containing Cutoff, S - GLO |
| printed wiring board, through-hole mounted, unspecified, Pb free | 0.7* SonarWeight *ElectronicsFraction *ElectronicsPWBSubfraction | kg | market for printed wiring board, through-hole mounted, unspecified, Pb free printed wiring board, through-hole mounted, unspecified, Pb free Cutoff, S - GLO |
| wafer, fabricated, for integrated circuit | (1/0.85/1.68)*SonarWeight *ElectronicsFraction *ElectronicsICDieSubfraction | m ² | market for wafer, fabricated, for integrated circuit wafer, fabricated, for integrated circuit Cutoff, S - GLO |

Avec les paramètres suivants, tirés de Gawron et al 2018 :

| | | |
|-----------------------------------|-------|--|
| ElectronicsFraction | 0.5 | Part du poids du capteur alloué aux composants électroniques |
| ElectronicsICDieSubfraction | 0.002 | Part du poids des composants électroniques allouée au IC die, pour un "small board" <0.5kg |
| ElectronicsICPackageSubfraction | 0.02 | Part du poids des composants électroniques allouée au IC package, pour un "small board" <0.5kg |
| ElectronicsPowerSupplySubfraction | 0.2 | Part du poids des composants électroniques allouée au power supply, pour un "small board" <0.5kg |

| | | |
|---------------------------|-------|---|
| ElectronicsPWBSubfraction | 0.778 | Part du poids des composants électroniques allouée au PWB, pour un "small board" <0.5kg |
| PlasticFraction | 0.5 | Part du poids du capteur alloué aux plastiques |

Radar

(nombre) Contributions liées à la fabrication et fin de vie d'un radar embarqué, paramétrées par son poids.

Doit inclure:

- Matières premières ->ok, à améliorer
- Processus de fabrication -> ok, à améliorer
- Transport des matières premières jusqu'au site de production puis des composants finis du site de production vers le site d'assemblage -> pas explicitement, cf hypothèses dans les providers.
- Processus de fin de vie -> non encore modélisé

Limites et précautions :

- Modélisation réalisée à partir des données issues de l'article Gawron et al. 2018. Vérification des résultats par rapportx à ceux de l'article : ordre de grandeur ok sur le changement climatique et énergie primaire en phase de production. Les hypothèses sur les matériaux et les processus de fabrication ont été repris à partir de celles faites pour la caméra. Donc s'il y a des modifications pour la caméra, il faut harmoniser ici.
- Attention, les providers sont globaux, à ajuster pour la modélisation.

| Flux d'entrée | Quantité | Unité | Provider |
|--|--|----------|--|
| acrylonitrile-butadiene-styrene copolymer | RadarWeight *PlasticFraction /0.994/0.997 | kg | market for acrylonitrile-butadiene-styrene copolymer acrylonitrile-butadiene-styrene copolymer Cutoff, S - GLO |
| blow moulding | RadarWeight *PlasticFraction /0.997 | kg | market for blow moulding blow moulding Cutoff, S - GLO |
| injection moulding | RadarWeight *PlasticFraction /0.994/0.997 | kg | market for injection moulding injection moulding Cutoff, S - GLO |
| integrated circuit, memory type | RadarWeight *ElectronicsFraction *ElectronicsICPackageSubfraction | kg | market for integrated circuit, memory type integrated circuit, memory type Cutoff, S - GLO |
| power supply unit, for desktop computer | (1/1.4434)*RadarWeight *ElectronicsFraction *ElectronicsPowerSupplySubfraction | Item (s) | market for power supply unit, for desktop computer power supply unit, for desktop computer Cutoff, S - GLO |
| printed wiring board, through-hole mounted, unspecified, Pb containing | 0.3*RadarWeight *ElectronicsFraction *ElectronicsPWBSubfraction | kg | market for printed wiring board, through-hole mounted, unspecified, Pb containing printed wiring board, through-hole mounted, unspecified, Pb containing Cutoff, S - GLO |
| printed wiring board, through-hole mounted, unspecified, Pb free | 0.7* RadarWeight *ElectronicsFraction | kg | market for printed wiring board, through-hole mounted, unspecified, Pb free printed wiring board, through-hole mounted, unspecified, Pb free Cutoff, S - GLO |

| | | | |
|---|---|--------|--|
| | *ElectronicsPWBSubfraction | | |
| wafer, fabricated, for integrated circuit | (1/0.85/1.68)*RadarWeight*ElectronicsFraction*ElectronicsICDieSubfraction | m 2 | market for wafer, fabricated, for integrated circuit wafer, fabricated, for integrated circuit Cutoff, S - GLO |

Avec les paramètres suivants, tirés de Gawron et al 2018 :

| | | |
|-----------------------------------|-------|--|
| ElectronicsFraction | 0.7 | Part du poids du capteur alloué aux composants électroniques |
| ElectronicsICDieSubfraction | 0.002 | Part du poids des composants électroniques allouée au IC die, pour un "small board" <0.5kg |
| ElectronicsICPackageSubfraction | 0.02 | Part du poids des composants électroniques allouée au IC package, pour un "small board" <0.5kg |
| ElectronicsPowerSupplySubfraction | 0.2 | Part du poids des composants électroniques allouée au power supply, pour un "small board" <0.5kg |
| ElectronicsPWBSubfraction | 0.778 | Part du poids des composants électroniques allouée au PWB, pour un "small board" <0.5kg |
| PlasticFraction | 0.3 | Part du poids du capteur en plastiques |

GNSS/INS

(nombre) Contributions liées à la fabrication et fin de vie d'un récepteur GNSS et centrale inertielle embarqués, paramétrées par leur poids cumulé.

Doit inclure:

- Matières premières ->ok, à améliorer
- Processus de fabrication -> ok, à améliorer
- Transport des matières premières jusqu'au site de production puis des composants finis du site de production vers le site d'assemblage -> pas explicitement, cf hypothèses dans les providers.
- Processus de fin de vie -> non encore modélisé

Limites et précautions :

- Modélisation réalisée à partir de l'article Gawron et al. 2018. Vérification des résultats par rapport à ceux de l'article : Pas la même valeur sur le changement climatique et énergie primaire en phase de production (par rapport à la littérature) mais l'ordre de grandeur est le même. Je pense qu'il y a une erreur dans l'article de la littérature. Les hypothèses sur les matériaux et les processus de fabrication ont été reprises à partir de celles faites pour la caméra. Donc s'il y a des modifications pour la caméra, il faut harmoniser ici.

- Attention, les providers utilisés sont globaux, à ajuster pour la modélisation.

| Flux d'entrée | Quantité | Unité | Provider |
|---|---|-------|--|
| acrylonitrile-butadiene-styrene copolymer | GNSSWeight*PlasticFraction /0.994/0.997 | kg | market for acrylonitrile-butadiene-styrene copolymer acrylonitrile-butadiene-styrene copolymer Cutoff, S - GLO |
| blow moulding | GNSSWeight*PlasticFraction /0.997 | kg | market for blow moulding blow moulding Cutoff, S - GLO |

| | | | |
|--|---|----------|--|
| injection moulding | GNSSWeight *PlasticFraction /0.994/0.997 | kg | market for injection moulding injection moulding Cutoff, S - GLO |
| integrated circuit, memory type | GNSSWeight *ElectronicsFraction *ElectronicsICPackageSubfraction | kg | market for integrated circuit, memory type integrated circuit, memory type Cutoff, S - GLO |
| power supply unit, for desktop computer | (1/1.4434)*GNSSWeight *ElectronicsFraction *ElectronicsPowerSupplySubfraction | Item (s) | market for power supply unit, for desktop computer power supply unit, for desktop computer Cutoff, S - GLO |
| printed wiring board, through-hole mounted, unspecified, Pb containing | 0.3*GNSSWeight *ElectronicsFraction *ElectronicsPWBSubfraction | kg | market for printed wiring board, through-hole mounted, unspecified, Pb containing printed wiring board, through-hole mounted, unspecified, Pb containing Cutoff, S - GLO |
| printed wiring board, through-hole mounted, unspecified, Pb free | 0.7*GNSSWeight *ElectronicsFraction *ElectronicsPWBSubfraction | kg | market for printed wiring board, through-hole mounted, unspecified, Pb free printed wiring board, through-hole mounted, unspecified, Pb free Cutoff, S - GLO |
| wafer, fabricated, for integrated circuit | (1/0.85/1.68)*GNSSWeight *ElectronicsFraction *ElectronicsICDieSubfraction | m2 | market for wafer, fabricated, for integrated circuit wafer, fabricated, for integrated circuit Cutoff, S - GLO |

Avec les paramètres suivants, tirés de Gawron et al 2018 :

| | | |
|-----------------------------------|-------|--|
| ElectronicsFraction | 0.55 | Part du poids du récepteur alloués aux composants électroniques |
| ElectronicsICDieSubfraction | 0.002 | Part du poids des composants électroniques allouée au IC die, pour un "small board" <0.5kg |
| ElectronicsICPackageSubfraction | 0.02 | Part du poids des composants électroniques allouée au IC package, pour un "small board" <0.5kg |
| ElectronicsPowerSupplySubfraction | 0.2 | Part du poids des composants électroniques allouée au power supply, pour un "small board" <0.5kg |
| ElectronicsPWBSubfraction | 0.778 | Part du poids des composants électroniques allouée au PWB, pour un "small board" <0.5kg |
| PlasticFraction | 0.45 | Part du poids du récepteur en plastiques |

OBU

(nombre) Contributions liées à la fabrication et fin de vie d'une unité de communication de courte portée embarquée (OBU=On-Board Unit), paramétrées par son poids.

Doit inclure :

- Matières premières ->ok, à améliorer
- Processus de fabrication -> ok, à améliorer
- Transport des matières premières jusqu'au site de production puis des composants finis du site de production vers le site d'assemblage -> pas explicitement, cf hypothèses dans les providers.
- Processus de fin de vie -> non encore modélisé

Limites et précautions :

- Modélisation réalisée à partir des données issues de l'article de Gawron et al 2018. Vérification des résultats par rapport à ceux de l'article : il y a des écarts sur le CO2 et l'énergie primaire mais on reste dans les mêmes ordres de grandeurs. Hypothèses matériaux et processus industriels reprennent celles faits pour la caméra. Si elles changent, il faudra les changer également. Cela concerne les hypothèses sur le plastique et les matériaux électorniques. Les hypothèses sur l'aluminium viennent de la structure. Les hypothèses proposées dans la littérature concernant la perte de matière première n'ont pas été utilisées car les processus proposés dans ecoinvent contiennent déjà leur propres hypothèses de perte de matière.

- Les providers sont globaux, à ajuster pour la modélisation.

| Flux d'entrée | Quantité | Unité | Provider |
|--|--|----------------|--|
| acrylonitrile-butadiene-styrene copolymer | OBUWeight *PlasticFraction /0.994/0.997 | kg | market for acrylonitrile-butadiene-styrene copolymer acrylonitrile-butadiene-styrene copolymer Cutoff, S - GLO |
| aluminium, wrought alloy | OBUWeight *AluminumFraction | kg | market for aluminium, wrought alloy aluminium, wrought alloy Cutoff, S - GLO |
| blow moulding | OBUWeight *PlasticFraction /0.997 | kg | market for blow moulding blow moulding Cutoff, S - GLO |
| cable, ribbon cable, 20-pin, with plugs | OBUWeight *CopperFraction | kg | market for cable, ribbon cable, 20-pin, with plugs cable, ribbon cable, 20-pin, with plugs Cutoff, S - GLO |
| injection moulding | OBUWeight *PlasticFraction /0.994/0.997 | kg | market for injection moulding injection moulding Cutoff, S - GLO |
| integrated circuit, memory type | OBUWeight *ElectronicsFraction *ElectronicsICPackageSubfraction | kg | market for integrated circuit, memory type integrated circuit, memory type Cutoff, S - GLO |
| metal working, average for aluminium product manufacturing | OBUWeight *AluminumFraction | kg | market for metal working, average for aluminium product manufacturing metal working, average for aluminium product manufacturing Cutoff, S - GLO |
| metal working, average for steel product manufacturing | OBUWeight *SteelFraction | kg | market for metal working, average for steel product manufacturing metal working, average for steel product manufacturing Cutoff, S - GLO |
| power supply unit, for desktop computer | (1/1.4434)*OBUWeight *ElectronicsFraction *ElectronicsPowerSupplySubfraction | Item (s) | market for power supply unit, for desktop computer power supply unit, for desktop computer Cutoff, S - GLO |
| printed wiring board, through-hole mounted, unspecified, Pb containing | 0.3*OBUWeight *ElectronicsFraction *ElectronicsPWBSubfraction | kg | market for printed wiring board, through-hole mounted, unspecified, Pb containing printed wiring board, through-hole mounted, unspecified, Pb containing Cutoff, S - GLO |
| printed wiring board, through-hole mounted, unspecified, Pb free | 0.7* OBUWeight *ElectronicsFraction *ElectronicsPWBSubfraction | kg | market for printed wiring board, through-hole mounted, unspecified, Pb free printed wiring board, through-hole mounted, unspecified, Pb free Cutoff, S - GLO |
| sheet rolling, aluminium | OBUWeight *AluminumFraction | kg | market for sheet rolling, aluminium sheet rolling, aluminium Cutoff, S - GLO |
| sheet rolling, steel | OBUWeight *SteelFraction | kg | market for sheet rolling, steel sheet rolling, steel Cutoff, S - GLO |
| steel, low-alloyed, hot rolled | OBUWeight *SteelFraction | kg | market for steel, low-alloyed, hot rolled steel, low-alloyed, hot rolled Cutoff, S - GLO |
| wafer, fabricated, for integrated circuit | (1/0.85/1.68)*OBUWeight *ElectronicsFraction *ElectronicsICDieSubfraction | m ² | market for wafer, fabricated, for integrated circuit wafer, fabricated, for integrated circuit Cutoff, S - GLO |

Avec les paramètres suivants, tirés de Gawron et al 2018 :

| | | |
|-----------------------------------|-------|--|
| AluminumFraction | 0.48 | Part du poids du capteur en aluminium |
| CopperFraction | 0.01 | Part du poids du capteur en cuivre |
| ElectronicsFraction | 0.35 | Part du poids du capteur alloué aux composants électroniques |
| ElectronicsICDieSubfraction | 0.001 | Part du poids des composants électroniques allouée au IC die, pour un "medium board" 0.5kg<X<1kg |
| ElectronicsICPackageSubfraction | 0.033 | Part du poids des composants électroniques allouée au IC package, pour un "medium board" 0.5kg<X<1kg |
| ElectronicsPowerSupplySubfraction | 0.553 | Part du poids des composants électroniques allouée au power supply, pour un "medium board" 0.5kg<X<1kg |
| ElectronicsPWBSubfraction | 0.413 | Part du poids des composants électroniques allouée au PWB, pour un "medium board" 0.5kg<X<1kg |
| PlasticFraction | 0.03 | Part du capteur en plastiques |
| SteelFraction | 0.13 | Part du capteur en acier |

Computer

(nombre) Contributions liées à la fabrication et fin de vie d'un ordinateur de bord, paramétrées par son poids.

Doit inclure :

- Matières premières ->ok, à améliorer
- Processus de fabrication -> ok, à améliorer
- Transport des matières premières jusqu'au site de production puis des composants finis du site de production vers le site d'assemblage -> pas explicitement, cf hypothèses dans les providers.
- Processus de fin de vie -> non encore modélisé

Limites et précautions :

- Modélisation réalisée à partir de données issues de l'article Gawron et al. 2018.
- Attention, les providers sont globaux, à ajuster pour la modélisation.
- Vérifications des résultats par rapport à ceux de l'article :

L'article propose une décomposition matière. Dans la base ecoinvent il y a une modélisation d'un ordinateur standard sans écran. On l'utilisera, ajusté au poids, pour une comparaison (cf computer production 0,45 items). Les valeurs d'impacts ont des écarts allant jusqu'à 50%. Par rapport à l'article, sur l'indicateur de changement climatique (résultats similaires pour l'énergie cumulée) les valeurs sont plus proches pour le modèle d'ordinateur standard. Le modèle utilisé ici a des impacts bien plus importants.

Les terres rares en particulier sont à revoir - ce n'est probablement pas le bon oxide. La comparaison avec la référence (desktop computer) montre que les indicateurs de toxicité et pollution de l'eau sont sous-estimés et que les terres rares sont systématiquement absentes - peut-être que les flux ne sont pas correctement renseignés ?

| Flux d'entrée | Quantité | U ni té | Provider |
|--|---|---------------|--|
| acrylonitrile-butadiene-styrene copolymer | ComputerWeight *PlasticFraction /0.994/0.997 | kg | market for acrylonitrile-butadiene-styrene copolymer acrylonitrile-butadiene-styrene copolymer Cutoff, S - GLO |
| aluminium, wrought alloy | ComputerWeight *AluminumFraction | kg | market for aluminium, wrought alloy aluminium, wrought alloy Cutoff, S - GLO |
| blow moulding | ComputerWeight *PlasticFraction /0.997 | kg | market for blow moulding blow moulding Cutoff, S - GLO |
| cable, ribbon cable, 20-pin, with plugs | ComputerWeight *CopperFraction | kg | market for cable, ribbon cable, 20-pin, with plugs cable, ribbon cable, 20-pin, with plugs Cutoff, S - GLO |
| cast iron | ComputerWeight *CastIronFraction | kg | market for cast iron cast iron Cutoff, S - GLO |
| injection moulding | ComputerWeight *PlasticFraction /0.994/0.997 | kg | market for injection moulding injection moulding Cutoff, S - GLO |
| integrated circuit, memory type | ComputerWeight *ElectronicsFraction *ElectronicsICPackageSubfraction | kg | market for integrated circuit, memory type integrated circuit, memory type Cutoff, S - GLO |
| metal working, average for aluminium product manufacturing | ComputerWeight *AluminumFraction | kg | market for metal working, average for aluminium product manufacturing metal working, average for aluminium product manufacturing Cutoff, S - GLO |
| power supply unit, for desktop computer | (1/1.4434)*ComputerWeight *ElectronicsFraction *ElectronicsPowerSupplySubfraction | Item (s) | market for power supply unit, for desktop computer power supply unit, for desktop computer Cutoff, S - GLO |
| printed wiring board, through-hole mounted, unspecified, Pb containing | 0.3*ComputerWeight *ElectronicsFraction *ElectronicsPWBSubfraction | kg | market for printed wiring board, through-hole mounted, unspecified, Pb containing printed wiring board, through-hole mounted, unspecified, Pb containing Cutoff, S - GLO |
| printed wiring board, through-hole mounted, unspecified, Pb free | 0.7* ComputerWeight *ElectronicsFraction *ElectronicsPWBSubfraction | kg | market for printed wiring board, through-hole mounted, unspecified, Pb free printed wiring board, through-hole mounted, unspecified, Pb free Cutoff, S - GLO |
| samarium europium gadolinium concentrate, 94% rare earth oxide | ComputerWeight *RareEarthFraction | kg | market for samarium europium gadolinium concentrate, 94% rare earth oxide samarium europium gadolinium concentrate, 94% rare earth oxide Cutoff, S - GLO |
| sheet rolling, aluminium | ComputerWeight *AluminumFraction | kg | market for sheet rolling, aluminium sheet rolling, aluminium Cutoff, S - GLO |
| wafer, fabricated, for integrated circuit | (1/0.85/1.68)*ComputerWeight *ElectronicsFraction *ElectronicsICDieSubfraction | m 2 | market for wafer, fabricated, for integrated circuit wafer, fabricated, for integrated circuit Cutoff, S - GLO |

Avec les paramètres suivants, tirés de Gawron et al 2018 :

| | | |
|---------------------------------|-------|--|
| AluminumFraction | 0.7 | Part du poids de l'ordinateur en aluminium |
| CastIronFraction | 0.02 | Part du poids de l'ordinateur en fonte(?) |
| CopperFraction | 0.06 | Part du poids de l'ordinateur en cuivre |
| ElectronicsFraction | 0.16 | Part du poids de l'ordinateur alloué aux composants électroniques |
| ElectronicsICDieSubfraction | 0.001 | Part du poids des composants électroniques allouée au IC die, pour un "medium board" 0.5kg<X<1kg |
| ElectronicsICPackageSubfraction | 0.033 | Part du poids des composants électroniques allouée au IC package, pour un "medium board" 0.5kg<X<1kg |

| | | |
|-----------------------------------|-----------|--|
| ElectronicsPowerSupplySubfraction | 0.5 53 | Part du poids des composants électroniques allouée au power supply, pour un "medium board" 0.5kg<X<1kg |
| ElectronicsPWBSubfraction | 0.4 13 | Part du poids des composants électroniques allouée au PWB, pour un "medium board" 0.5kg<X<1kg |
| PlasticFraction | 0.0 4 | Part du poids de l'ordinateur en plastiques |
| RareEarthFraction | 0.0 2 | Part du poids de l'ordinateur en terres Rares |

Structure

(véhicule) Contributions liées à la fabrication et fin de vie de la structure support des capteurs embarqués sur un véhicule, paramétrées par son poids.

Doit inclure :

- Matières premières ->ok
- Processus de fabrication -> ok
- Transport des matières premières jusqu'au site de production puis des composants finis du site de production vers le site d'assemblage -> pas explicitement, cf hypothèses dans les providers.
- Processus de fin de vie -> non encore modélisé

Limites et précautions :

- La modélisation est réalisée à partir des données issues de l'article de Gawron et al. 2018. Dans l'article le poids de la structure n'est pas précisé directement. Il est visible dans les figures annexes. Il est de 1.870, 5.824 et 24.75 kg environ respectivement pour les systèmes petit, moyen et grand. Pour l'instant le paramètre est fixé à 5.824 mais il faut l'ajuster dans les calculs d'impacts. D'autre part il n'est pas possible de vérifier ses impacts environnementaux, ils ne sont pas précisés dans l'article. L'article introduit des hypothèses sur la perte de matière première (aluminium) pendant les processus de fabrication. Ici on ignore ces valeurs car les processus utilisés, issus deecoinvent, contiennent d'autres hypothèses.

- Attention, les providers utilisés sont globaux, à ajuster pour la modélisation.

| Flux d'entrée | Quantité | Unité | Provider |
|--|---|-------|--|
| acrylonitrile-butadiene-styrene copolymer | StructureWeight *PlasticFraction /0.994/0.997 | kg | market for acrylonitrile-butadiene-styrene copolymer acrylonitrile-butadiene-styrene copolymer Cutoff, S - GLO |
| aluminium, wrought alloy | StructureWeight *AluminumFraction | kg | market for aluminium, wrought alloy aluminium, wrought alloy Cutoff, S - GLO |
| blow moulding | StructureWeight *PlasticFraction /0.997 | kg | market for blow moulding blow moulding Cutoff, S - GLO |
| injection moulding | StructureWeight *PlasticFraction /0.994/0.997 | kg | market for injection moulding injection moulding Cutoff, S - GLO |
| metal working, average for aluminium product manufacturing | StructureWeight *AluminumFraction | kg | market for metal working, average for aluminium product manufacturing metal working, average for aluminium product manufacturing Cutoff, S - GLO |

| | | | |
|--------------------------|--------------------------------------|----|--|
| sheet rolling, aluminium | StructureWeight *AluminumFraction | kg | market for sheet rolling, aluminium sheet rolling, aluminium Cutoff, S - GLO |
|--------------------------|--------------------------------------|----|--|

Avec les paramètres suivants, tirés de Gawron et al 2018 :

| | | |
|------------------|------|---|
| AluminumFraction | 0.49 | Part du poids de la structure en aluminium |
| PlasticFraction | 0.51 | Part du poids de la structure en plastiques |

Harness

(nombre) Contributions liées à la fabrication et fin de vie de l'ensemble du câblage nécessaire pour connecter les éléments du système de perception - fusion – décision, assurant la redondance des actionneurs d'un véhicule, paramétrées par son poids.

Doit inclure :

- Matières premières ->ok, à améliorer
- Processus de fabrication -> ok, à améliorer
- Transport des matières premières jusqu'au site de production puis des composants finis du site de production vers le site d'assemblage -> pas explicitement, cf hypothèses dans les providers.
- Processus de fin de vie -> non encore modélisé

Limites et précautions :

- Modélisation réalisée à partir des données issues de l'article Gawron et al. 2018. Vérifications des résultats par rapport à ceux de l'article : dans l'article le poids du câblage n'est pas précisé directement. Il est inférieur à 1% du poids total du système. Donc moins de 117g, 224g, 550g pour les systèmes petit, moyen et grand. Il faudra l'ajuster au moment du calcul des impacts environnementaux (0,15kg pris comme hypothèse). De même la vérification des impacts environnementaux n'a pas pu être réalisée car ces valeurs ne sont pas précisées dans l'article.
- Attention, les providers utilisés sont globaux, à ajuster pour la modélisation.

| Flux d'entrée | Quantité | Unité | Provider |
|---|---------------|-------|--|
| cable, ribbon cable, 20-pin, with plugs | HarnessWeight | kg | market for cable, ribbon cable, 20-pin, with plugs cable, ribbon cable, 20-pin, with plugs Cutoff, S - GLO |

4.4.1.1.2 Vie en œuvre

Camera - use

(heure) Contributions liées à l'utilisation d'une caméra embarquée pendant une heure, paramétrées par sa puissance électrique.

Doit inclure :

- Consommation d'énergie ->ok

Limites et précautions :

- Modélisation réalisée à partir des données issues de l'article Gawrton et al. 2018. Vérifications des résultats par rapport aux résultats de l'article : hypothèse: on ne fait pas de conversion en énergie primaire dans le modèle mais on utilise les données ecoinvent à la place. Résultats : La demande cumulative d'énergie calculée est de 80 MJ environ alors qu'elle n'est que de 60MJ dans l'article. Par contre le CO2 émis est similaire (6 au lieu de 5kg CO2).

- Attention, le provider d'électricité est global, à ajuster pour la modélisation.

| Flux d'entrée | Quantité | Unit é | Provider |
|--------------------------|------------------------------|--------|--|
| electricity, low voltage | CameraPower /1000/EffBattery | kW h | market group for electricity, low voltage electricity, low voltage Cutoff, S - GLO |

S.LiDAR - use

(heure) Contributions liées à l'utilisation d'un « petit » LiDAR pendant une heure, paramétrées par sa puissance électrique.

Doit inclure:

- Consommation d'énergie -> ok

Limites et précautions :

- Modélisation réalisée à partir des données de Gawron et al. 2018. Verif des impacts par rapport aux résultats de l'article : des écarts mais l'ordre de grandeur est le même pour le CO2 , des écarts plus importants sur l'énergie primaire.

- Attention, provider utilisé pour l'électricité est global, à ajuster pour la modélisation.

| Flux d'entrée | Quantité | Unit é | Provider |
|--------------------------|------------------------------|--------|--|
| electricity, low voltage | SLiDARPower /1000/EffBattery | kW h | market group for electricity, low voltage electricity, low voltage Cutoff, S - GLO |

L.LiDAR - use

(heure) Contributions liées à l'utilisation d'un « grand » LiDAR pendant une heure, paramétrées par sa puissance électrique.

Doit inclure :

- Consommation d'énergie ->ok

Limites et précautions :

- Modélisation réalisée à partir de l'article Gawron et al. 2018. Vérification des résultats par rapport aux résultats de l'article : écarts importants sur l'énergie primaire mais même ordre de grandeur. Moins d'écarts sur le CO2.

- Attention, provider d'électricité est global, à ajuster pour la modélisation.

| Flux d'entrée | Quantité | Unité | Provider |
|--------------------------|------------------------------|-------|--|
| electricity, low voltage | LLidarPower /1000/EffBattery | kWh | market group for electricity, low voltage electricity, low voltage Cutoff, S - GLO |

Sonar - use

(heure) Contributions liées à l'utilisation d'un capteur ultra-sons pendant une heure, paramétrées par sa puissance électrique.

Doit inclure :

- Consommation d'énergie ->ok

Limites et précautions :

- Modélisation réalisée à partir des données issues de Gawron et al. 2018. Vérification par rapport aux résultats de l'article : énergie primaire même ordre de grandeur mais plus faible que dans l'article, idem pour le CO2.

- Attention, provider d'électricité globale à ajuster.

| Flux d'entrée | Quantité | Unité | Provider |
|--------------------------|-----------------------------|-------|--|
| electricity, low voltage | SonarPower /1000/EffBattery | kWh | market group for electricity, low voltage electricity, low voltage Cutoff, S - GLO |

Radar - use

(heure) Contributions liées à l'utilisation d'un radar pendant une heure, paramétrées par sa puissance électrique.

Doit inclure :

- Consommation d'énergie -> ok

Limites et précautions :

- Modélisation réalisée à partir des données issues de l'article de Gawron et al. 2018. Vérification des résultats par rapport à ceux de l'article : même ordre de grandeur sur le CO2, écarts plus importants sur la conso d'énergie primaire.

- Attention provider d'électricité est globale, à ajuster pour la modélisation du cas d'usage.

| Flux d'entrée | Quantité | Unité | Provider |
|--------------------------|----------------------------|-------|--|
| electricity, low voltage | RadarPower/1000/EffBattery | kWh | market group for electricity, low voltage electricity, low voltage Cutoff, S - GLO |

GNSS/INS - use

(heure) Contributions liées à l'utilisation du récepteur GNSS et de la centrale inertielle embarqués pendant une heure, paramétrées par leur puissance électrique cumulée.

Doit inclure :

- Consommation d'énergie -> ok

Limites et précautions :

- Modélisation réalisée à partir des données issues de l'article de Gawron et al. 2018. Vérification des résultats par rapport à ceux de l'article : les ordres de grandeurs sont ok sur le CO2 et l'énergie primaire.

- Attention : fournir d'électricité global, à ajuster pour la modélisation.

| Flux d'entrée | Quantité | Unit é | Provider |
|--------------------------|----------------------------|--------|--|
| electricity, low voltage | GNSSPower /1000/EffBattery | kW h | market group for electricity, low voltage electricity, low voltage Cutoff, S - GLO |

OBU - use

(heure) Contributions liées à l'utilisation d'une unité de communication de courte portée embarquée pendant une heure (on-board unit OBU en anglais), paramétrées par sa puissance électrique.

Doit inclure :

- Consommation d'énergie -> ok

Limites et précautions :

- Modélisation réalisée à partir des données issues de l'article Gawron et al. 2018. Vérification des résultats par rapport aux résultats de l'article : CO2 proche, énergie primaire beaucoup plus mais même ordre de grandeur.

- Attention fournir d'électricité global, à ajuster pour la modélisation.

| Flux d'entrée | Quantité | Unit é | Provider |
|--------------------------|---------------------------|--------|--|
| electricity, low voltage | OBUPower /1000/EffBattery | kW h | market group for electricity, low voltage electricity, low voltage Cutoff, S - GLO |

Computer - use

(heure) Contributions liées à l'utilisation d'un ordinateur de bord pendant une heure, paramétrées par sa puissance électrique.

Doit inclure :

- Consommation d'énergie -> ok

Limites et précautions :

- Modélisation réalisée à partir des données issues de l'article Gawron et al. 2018. Vérification des résultats par rapport à ceux de l'article : CO2 relativement proche, énergie primaire bcp plus importante mais ordres de grandeur similaires.

- Attention provider d'électricité est global, à ajuster pour la modélisation

| Flux d'entrée | Quantité | Unit é | Provider |
|--------------------------|--------------------------------|--------|--|
| electricity, low voltage | ComputerPower /1000/EffBattery | kWh | market group for electricity, low voltage electricity, low voltage Cutoff, S - GLO |

4.4.1.2 Architecture

4.4.1.2.1 Production et fin de vie

Plate-forme-Prod et fin de vie

(véhicule) Contributions liées à la fabrication et fin de vie de la plate-forme véhicule, y compris les batteries d'un véhicule nécessaires pour toute la durée de vie du véhicule, incluant leur remplacement.

Inclure :

- Fabrication de la plate-forme et de la batterie->ok
- Assemblage et acheminement des véhicules ->ok, acheminement à revoir
- Fin de vie de la plate-forme et de la batterie ->non modélisé pour l'instant
- Fabrication, montage et fin de vie du système de contrôle manuel -> non modélisé pour l'instant (on fait l'hypothèse que les modifications sont mineures par rapport à la plate-forme de base)
- Fabrication, montage et fin de vie des systèmes de freinage, moto-propulseur, direction et contrôle commande auxiliaires robotisés en faisant attention à bien intégrer les modifications côté plate-forme -> non modélisé pour l'instant (on fait l'hypothèse que les modifications sont mineures par rapport à la plate-forme de base)

| Flux d'entrée | Quantité | Unit é | Provider |
|--|---------------------------------------|--------|--|
| battery, Li-ion, rechargeable, prismatic | PoidsBat*(DistTotVeh U /DistTotBatU) | kg | market for battery, Li-ion, rechargeable, prismatic battery, Li-ion, rechargeable, prismatic Cutoff, S - GLO |
| passenger car, electric, without battery | PoidsVehSsBat | kg | market for passenger car, electric, without battery passenger car, electric, without battery Cutoff, S - GLO |

Localisation-Prod et fin de vie

(véhicule) Contributions liées à la fabrication et fin de vie de l'ensemble des composants du système de localisation du véhicule nécessaires pour toute la durée de vie du véhicule, incluant leur remplacement.

Inclure :

- Fabrication des composants faisant partie de l'architecture + Hypothèses de remplacement des composants selon les durées de vie des composants : récepteur du signal GNSS, centrale inertielle, odometre -> GNSS ok, centrale inertielle et odometre non modélisés

- Montage du récepteur GNSS, de la centrale inertielle et de l'odometre -> non modélisé pour l'instant

- Fin de vie des capteurs : centrale inertielle, odomètre, GNSS -> non modélisé pour l'instant (cf processus GNSS/INS)

| Flux d'entrée | Quantité | Unité | Provider |
|---------------|------------------------|---------|----------|
| GNSS/INS | NbGNSS *LSVehPF/LSGNSS | Item(s) | GNSS/INS |

Perception-Prod et fin de vie

(véhicule) Contributions liées à la fabrication et fin de vie de l'ensemble des composants du système de perception du véhicule nécessaires pour toute la durée de vie du véhicule, incluant leur remplacement.

Inclure :

- Fabrication des composants faisant partie de l'architecture + Hypothèses de remplacement des composants selon les durées de vie des composants : capteurs extéroceptifs et proprioceptifs embarqués ->ok

- Montage des capteurs extéroceptifs et proprioceptifs ->non modélisé pour l'instant

- Fin de vie des capteurs extéroceptifs et proprioceptifs -> non modélisé pour l'instant (cf processus respectifs)

| Flux d'entrée | Quantité | Unité | Provider |
|---------------|----------------------------|---------|-----------|
| Camera | NbCamera *LSVehPF/LSCamera | Item(s) | Camera |
| L.LiDAR | NbLLiDAR *LSVehPF/LSLLiDAR | Item(s) | L.LiDAR |
| Radar | NbRadar *LSVehPF/LSRadar | Item(s) | Radar |
| S.LiDAR | NbSLiDAR *LSVehPF/LSLiDAR | Item(s) | S.LiDAR |
| Sonar | NbSonar*LSVehPF/LSSonar | Item(s) | Sonar |
| Structure | LSVehPF/LSStructure | Item(s) | Structure |

Decision-Prod et fin de vie

(véhicule) Contributions liées à la fabrication et fin de vie de l'ensemble des composants du système de décision du véhicule nécessaires pour toute la durée de vie du véhicule, incluant leur remplacement.

Inclure :

- Fabrication des composants faisant partie de l'architecture + Hypothèses de remplacement des composants selon les durées de vie des composants : ordinateur de bord et actionneurs doublés ->ok

- Montage de l'ordinateur de bord et des actionneurs ->non modélisé pour l'instant

- Fin de vie de l'ordinateur de bord et des actionneurs-> non modélisé pour l'instant (cf processus respectifs)

| Flux d'entrée | Quantité | Unité | Provider |
|---------------|--------------------------------|---------|----------|
| Computer | NbComputer *LSVehPF/LSComputer | Item(s) | Computer |
| Harness | NbHarness *LSVehPF/LSComputer | Item(s) | Harness |

IHM-Prod et fin de vie

(véhicule) Contributions liées à la fabrication et fin de vie de l'ensemble des composants du système d'IHM du véhicule nécessaires pour toute la durée de vie du véhicule, incluant leur remplacement.

Inclure :

- Fabrication de l'IHM (écrans, interphonie) -> non modélisé (on fait l'hypothèse que les modifications sont mineures par rapport à la plate-forme de base)
- Montage de l'IHM (écrans, interphonie) -> non modélisé (on fait l'hypothèse que les modifications sont mineures par rapport à la plate-forme de base)
- Fin de vie de l'IHM (écrans, interphonie) -> non modélisé (on fait l'hypothèse que les modifications sont mineures par rapport à la plate-forme de base)

| Flux d'entrée | Quantité | Unité | Provider |
|--|----------|-------|----------|
| | | | |
| Flux de sortie (si hors flux de référence) | | | |
| | | | |

V2X-Prod et fin de vie

(véhicule) Contributions liées à la fabrication et fin de vie de l'ensemble des composants du système de communication V2X du véhicule nécessaires pour toute la durée de vie du véhicule, incluant leur remplacement.

Inclure :

- Fabrication des composants faisant partie de l'architecture + Hypothèses de remplacement des composants selon les durées de vie des composants: Unité embarquée, antenne cellulaire ->Ok pour l'unité de communication de courte portée embarquée, antenne non modélisée
- Montage des unités embarquée et de l'antenne cellulaire -> non modélisé pour l'instant
- Fin de vie du DSRC et de l'antenne cellulaire -> non modélisé pour l'instant (cf processus associé)

| Flux d'entrée | Quantité | Unité | Provider |
|---------------|----------------------|---------|----------|
| OBU | NbOBU *LSVehPF/LSOBU | Item(s) | OBU |

R&D-Prod et fin de vie

(véhicule) Contributions liées à la fabrication et fin de vie de l'ensemble des composants montés sur le véhicule pour les besoins de R&D nécessaires pour toute la durée de vie du véhicule, incluant leur remplacement.

Inclure :

- Elements non identifiés à ce stade du travail.

| Flux d'entrée | Quantité | Unité | Provider |
|--|----------|-------|----------|
| | | | |
| Flux de sortie (si hors flux de référence) | | | |
| | | | |

| | | | |
|--|--|--|--|
| | | | |
|--|--|--|--|

4.4.1.2.2 Vie en œuvre

Autoroute-Plate-forme-Vie en œuvre

Urbain-Plate-forme-Vie en œuvre

Rural-Plate-forme-Vie en œuvre

Stationnement-Plate-forme-Vie en œuvre

(km) Contributions liées à la phase d'usage de la plate-forme du véhicule pour parcourir respectivement

- un kilomètre sur autoroute.
- un kilomètre en contexte urbain.
- un kilomètre en contexte rural ou périurbain.
- un kilomètre à l'intérieur d'un parc de stationnement.

Inclure :

- Consommation d'énergie et entretien du véhicule, de la batterie, incluant les effets de surconsommation (due aux besoins de climatisation, au poids additionnel et aux éventuels effets aérodynamiques) et réduction de la consommation (dues à l'éco-conduite) -> ok pour consommation d'énergie et entretien ramené en moyenne à un km, surconsommation de climatisation et éco-conduite non pris en compte pour l'instant

- Emissions hors échappement (usure des freins, pneus et chaussée) -> ok, reprise, en l'absence de données supplémentaires, de la modélisation réalisée dans ecoinvent 3.6 « transport, passenger car, electric »->outputs, avec les mêmes quantités.

Autoroute-Plate-forme-Vie en œuvre

| Flux d'entrée | Quantité | Unité | Provider |
|---|----------------------------------|---------|--|
| electricity, low voltage | PtPowerAutoroute /100/EffBattery | kWh | market group for electricity, low voltage electricity, low voltage Cutoff, S - GLO |
| maintenance, passenger car, electric, without battery | 1.0/DistTotVehU | ltem(s) | market for maintenance, passenger car, electric, without battery maintenance, passenger car, electric, without battery Cutoff, S - GLO |
| Flux de sortie (hors flux de référence) | Quantité (formule) | Unité | Provider (processus utilisé) |
| brake wear emissions, passenger car | 1.0503958E-6 | kg | market for brake wear emissions, passenger car brake wear emissions, passenger car Cutoff, U - GLO |
| road wear emissions, passenger car | 1.15543538E-5 | kg | market for road wear emissions, passenger car road wear emissions, passenger car Cutoff, U - GLO |
| tyre wear emissions, passenger car | 6.7567595E-5 | kg | market for tyre wear emissions, passenger car tyre wear emissions, passenger car Cutoff, U - GLO |

Urbain-Plate-forme-Vie en œuvre

| Flux d'entrée | Quantité | Unité | Provider |
|--------------------------|---------------------------|-------|--|
| electricity, low voltage | PtPowerUrb/100/EffBattery | kWh | market group for electricity, low voltage electricity, low voltage Cutoff, S - GLO |

| | | | |
|---|--------------------|---------|--|
| maintenance, passenger car, electric, without battery | 1.0/DistTotVehU | Item(s) | market for maintenance, passenger car, electric, without battery maintenance, passenger car, electric, without battery Cutoff, S - GLO |
| Flux de sortie (hors flux de référence) | Quantité (formule) | Unité | Provider (processus utilisé) |
| brake wear emissions, passenger car | 1.0503958E-6 | kg | market for brake wear emissions, passenger car brake wear emissions, passenger car Cutoff, U - GLO |
| road wear emissions, passenger car | 1.15543538E-5 | kg | market for road wear emissions, passenger car road wear emissions, passenger car Cutoff, U - GLO |
| tyre wear emissions, passenger car | 6.7567595E-5 | kg | market for tyre wear emissions, passenger car tyre wear emissions, passenger car Cutoff, U - GLO |

Rural-Plate-forme-Vie en oeuvre

| | | | |
|---|-----------------------------|---------|--|
| Flux d'entrée | Quantité | Unité | Provider |
| electricity, low voltage | PtPowerRural/100/EffBattery | kWh | market group for electricity, low voltage electricity, low voltage Cutoff, S - GLO |
| maintenance, passenger car, electric, without battery | 1.0/DistTotVehU | Item(s) | market for maintenance, passenger car, electric, without battery maintenance, passenger car, electric, without battery Cutoff, S - GLO |
| Flux de sortie (hors flux de référence) | Quantité (formule) | Unité | Provider (processus utilisé) |
| brake wear emissions, passenger car | 1.0503958E-6 | kg | market for brake wear emissions, passenger car brake wear emissions, passenger car Cutoff, U - GLO |
| road wear emissions, passenger car | 1.15543538E-5 | kg | market for road wear emissions, passenger car road wear emissions, passenger car Cutoff, U - GLO |
| tyre wear emissions, passenger car | 6.7567595E-5 | kg | market for tyre wear emissions, passenger car tyre wear emissions, passenger car Cutoff, U - GLO |

Stationnement-Plate-forme-Vie en oeuvre

| | | | |
|---|-------------------------------|---------|--|
| Flux d'entrée | Quantité | Unité | Provider |
| electricity, low voltage | PtPowerParking/100/EffBattery | kWh | market group for electricity, low voltage electricity, low voltage Cutoff, S - GLO |
| maintenance, passenger car, electric, without battery | 1.0/DistTotVehU | Item(s) | market for maintenance, passenger car, electric, without battery maintenance, passenger car, electric, without battery Cutoff, S - GLO |
| Flux de sortie (hors flux de référence) | Quantité (formule) | Unité | Provider (processus utilisé) |
| brake wear emissions, passenger car | 1.0503958E-6 | kg | market for brake wear emissions, passenger car brake wear emissions, passenger car Cutoff, U - GLO |
| road wear emissions, passenger car | 1.15543538E-5 | kg | market for road wear emissions, passenger car road wear emissions, passenger car Cutoff, U - GLO |
| tyre wear emissions, passenger car | 6.7567595E-5 | kg | market for tyre wear emissions, passenger car tyre wear emissions, passenger car Cutoff, U - GLO |

Localisation-Vie en oeuvre

(heure) Contributions liées à la phase d'usage de l'ensemble des composants du système de localisation du véhicule pendant une heure de roulage.

Inclure :

- Consommation d'énergie et entretien des capteurs : odometre, centrale inertielle, GNSS -> énergie ok du GNSS, entretien, odometre et centrale inertielle non modélisés

| Flux d'entrée | Quantité | Unité | Provider |
|----------------|----------|-------|----------------|
| GNSS/INS - use | NbGNSS | h | GNSS/INS - use |

Perception-Vie en oeuvre

(heure) Contributions liées à la phase d'usage de l'ensemble des composants du système de perception du véhicule pendant une heure de roulage.

Inclure :

- Consommations d'énergie et entretien des capteurs -> énergie ok, entretien non modélisé pour l'instant.

| Flux d'entrée | Quantité | Unité | Provider |
|---------------|----------|-------|---------------|
| Camera - use | NbCamera | h | Camera - use |
| L.LiDAR - use | NbLLiDAR | h | L.LiDAR - use |
| Radar - use | NbRadar | h | Radar - use |
| S.LiDAR - use | NbSLiDAR | h | S.LiDAR - use |
| Sonar - use | NbSonar | h | Sonar - use |

Decision-Vie en oeuvre

(heure) Contributions liées à la phase d'usage de l'ensemble des composants du système de décision du véhicule pendant une heure de roulage.

Inclure :

- Energie consommée et entretien de l'ordinateur de bord -> énergie ok, entretien non encore modélisé

| Flux d'entrée | Quantité | Unité | Provider |
|----------------|------------|-------|----------------|
| Computer - use | NbComputer | h | Computer - use |

IHM-Vie en oeuvre

(heure) Contributions liées à la phase d'usage de l'ensemble des composants du système d'IHM du véhicule pendant une heure de roulage.

Inclure :

- Energie conosommée et maintenance de l'IHM -> non modélisé pour l'instant (on fait l'hypothèse que c'est faible par rapport à la plate-forme de base)

| Flux d'entrée | Quantité | Unité | Provider |
|--|----------|-------|----------|
| | | | |
| Flux de sortie (si hors flux de référence) | | | |
| | | | |

V2X-Vie en oeuvre

(heure) Contributions liées à la phase d'usage de l'ensemble des composants du système de connectivité V2X du véhicule pendant une heure de roulage.

Inclure (sur toute la durée de vie du véhicule):

- Consommation d'énergie et entretien des composants : DSRC et antenne cellulaire -> ok pour l'énergie du DSRC, entretien et antenne cellulaire non modélisés

| Flux d'entrée | Quantité | Unité | Provider |
|---------------|----------|-------|-----------|
| OBU - use | NbOBU | h | OBU - use |

R&D-Vie en oeuvre

(heure) Contributions liées à la phase d'usage de l'ensemble des composants montés sur le véhicule pour les besoins de R&D pendant une heure de roulage.

Pas de composants supplémentaires identifiés à ce stade.

| Flux d'entrée | Quantité | Unité | Provider |
|---|----------|-------|----------|
| | | | |
| Flux de sortie (hors flux de référence) | | | |
| | | | |

4.4.1.3 Cas d'usage

4.4.1.3.1 Production et fin de vie

Veh-Plate-forme-Prod et fin de vie

(veh.km) Amortissement de la phase de fabrication et de fin de vie de la plate-forme au kilomètre parcouru.

| Flux d'entrée | Quantité | Unité | Provider |
|--------------------------------|---------------|---------|--------------------------------|
| Plate-forme-Prod et fin de vie | 1/DistTotVehU | Item(s) | Plate-forme-Prod et fin de vie |

Veh-Localisation-Prod et fin de vie

(veh.km) Amortissement de la phase de fabrication et de fin de vie du système de localisation du véhicule au kilomètre parcouru.

| Flux d'entrée | Quantité | Unité | Provider |
|---------------------------------|---------------|---------|---------------------------------|
| Localisation-Prod et fin de vie | 1/DistTotVehU | Item(s) | Localisation-Prod et fin de vie |

Veh-Perception-Prod et fin de vie

(veh.km) Amortissement de la phase de fabrication et de fin de vie du système de perception du véhicule au kilomètre parcouru.

| Flux d'entrée | Quantité | Unité | Provider |
|---------------|----------|-------|----------|
|---------------|----------|-------|----------|

| | | | |
|-------------------------------|---------------|---------|-------------------------------|
| Perception-Prod et fin de vie | 1/DistTotVehU | Item(s) | Perception-Prod et fin de vie |
|-------------------------------|---------------|---------|-------------------------------|

Veh-Decision-Prod et fin de vie

(veh.km) Amortissement de la phase de fabrication et de fin de vie du système de décision du véhicule au kilomètre parcouru.

| Flux d'entrée | Quantité | Unité | Provider |
|-----------------------------|---------------|---------|-----------------------------|
| Decision-Prod et fin de vie | 1/DistTotVehU | Item(s) | Decision-Prod et fin de vie |

Veh-IHM-Prod et fin de vie

(veh.km) Amortissement de la phase de fabrication et de fin de vie du système d'IHM du véhicule au kilomètre parcouru.

| Flux d'entrée | Quantité | Unité | Provider |
|------------------------|---------------|---------|------------------------|
| IHM-Prod et fin de vie | 1/DistTotVehU | Item(s) | IHM-Prod et fin de vie |

Veh-V2X-Prod et fin de vie

(veh.km) Amortissement de la phase de fabrication et de fin de vie du système de communication V2X du véhicule au kilomètre parcouru.

| Flux d'entrée | Quantité | Unité | Provider |
|------------------------|---------------|---------|------------------------|
| V2X-Prod et fin de vie | 1/DistTotVehU | Item(s) | V2X-Prod et fin de vie |

Veh-R&D-Prod et fin de vie

(veh.km) Amortissement de la phase de fabrication et de fin de vie des composants montés sur le véhicule pour les besoins de R&D au kilomètre parcouru.

| Flux d'entrée | Quantité | Unité | Provider |
|------------------------|---------------|---------|------------------------|
| R&D-Prod et fin de vie | 1/DistTotVehU | Item(s) | R&D-Prod et fin de vie |

4.4.1.3.2 Vie en oeuvre

Veh-Plate-forme-Vie en oeuvre

(veh.km) Contributions liées à la phase d'usage de la plate-forme du véhicule pour parcourir un kilomètre « moyen » compte tenu de l'usage du véhicule sur toute sa durée de vie.

| Flux d'entrée | Quantité | Unité | Provider |
|---|---------------|-------|---|
| Autoroute-Plate-forme-Vie en oeuvre | PartAutoroute | km | Autoroute-Plate-forme-Vie en oeuvre |
| Rural-Plate-forme-Vie en oeuvre | PartRural | km | Rural-Plate-forme-Vie en oeuvre |
| Stationnement-Plate-forme-Vie en oeuvre | PartParking | km | Stationnement-Plate-forme-Vie en oeuvre |
| Urbain-Plate-forme-Vie en oeuvre | PartUrb | km | Urbain-Plate-forme-Vie en oeuvre |

Veh-Localisation-Vie en oeuvre

(veh.km) Contributions liées à la phase d'usage du système de localisation du véhicule pour parcourir un kilomètre « moyen » compte tenu de l'usage du véhicule sur toute sa durée de vie.

| Flux d'entrée | Quantité | Unité | Provider |
|---------------|----------|-------|----------|
|---------------|----------|-------|----------|

| | | | |
|----------------------------|----------------|---|----------------------------|
| Localisation-Vie en oeuvre | MKmDrivingTime | h | Localisation-Vie en oeuvre |
|----------------------------|----------------|---|----------------------------|

Veh-Perception-Vie en oeuvre

(veh.km) Contributions liées à la phase d'usage du système de perception du véhicule pour parcourir un kilomètre « moyen » compte tenu de l'usage du véhicule sur toute sa durée de vie.

| Flux d'entrée | Quantité | Unité | Provider |
|--------------------------|----------------|-------|--------------------------|
| Perception-Vie en oeuvre | MKmDrivingTime | h | Perception-Vie en oeuvre |

Veh-Decision-Vie en oeuvre

(veh.km) Contributions liées à la phase d'usage du système de décision du véhicule pour parcourir un kilomètre « moyen » compte tenu de l'usage du véhicule sur toute sa durée de vie.

| Flux d'entrée | Quantité | Unité | Provider |
|------------------------|----------------|-------|------------------------|
| Decision-Vie en oeuvre | MKmDrivingTime | h | Decision-Vie en oeuvre |

Veh-IHM-Vie en oeuvre

(veh.km) Contributions liées à la phase d'usage du système d'IHM du véhicule pour parcourir un kilomètre « moyen » compte tenu de l'usage du véhicule sur toute sa durée de vie.

| Flux d'entrée | Quantité | Unité | Provider |
|-------------------|----------------|-------|-------------------|
| IHM-Vie en oeuvre | MKmDrivingTime | h | IHM-Vie en oeuvre |

Veh-V2X-Vie en oeuvre

(veh.km) Contributions liées à la phase d'usage du système de communication V2X du véhicule pour parcourir un kilomètre « moyen » compte tenu de l'usage du véhicule sur toute sa durée de vie.

| Flux d'entrée | Quantité | Unité | Provider |
|-------------------|----------------|-------|-------------------|
| V2X-Vie en oeuvre | MKmDrivingTime | h | V2X-Vie en oeuvre |

Veh-R&D-Vie en oeuvre

(veh.km) Contributions liées à la phase d'usage des composants montés sur le véhicule pour les besoins de R&D pour parcourir un kilomètre « moyen » compte tenu de l'usage du véhicule sur toute sa durée de vie.

| Flux d'entrée | Quantité | Unité | Provider |
|-------------------|----------------|-------|-------------------|
| R&D-Vie en oeuvre | MKmDrivingTime | h | R&D-Vie en oeuvre |

4.4.1.3.3 Data

Veh-Localisation-Data

(veh.km) Contributions liées à la consommation de données (données reçues par le véhicule) pour les besoins de localisation. Qui comprennent l'énergie du réseau de transmission typiquement cellulaire ou wifi ainsi que data centers éventuels utilisés pour mettre à disposition ces données.

Inclure :

- réception de la carte HD sémantisée -> ok pour la carte HD. Hypothèse de mise à jour de la carte par Wifi depuis le serveur du fournisseur de cartes. Limite : l'énergie du point d'accès Wifi n'a pas été modélisé (cf ci-dessous).

- localisation GNSS (réception du signal GNSS) + corrections RTK -> L'énergie du récepteur GNSS est déjà comptabilisée dans Localisation-Vie en oeuvre, ok pour la correction RTK reçues par cellulaire depuis un serveur du service de localisation de précision (ex : SatInfo, Orphéon).

- alternativement (lorsque le signal GNSS n'est pas disponible) réception d'un relais ou émulation du signal GNSS -> le fonctionnement de relais GNSS éventuels n'a pas été modélisé pour l'instant.

Limites et précautions : point d'accès Wifi non modélisé. D'après le rapport CEET utilisé pour les consommations énergétiques de l'accès aux données via Cloud, l'accès par Wifi public représente environ 0.4µJ/bit, du même ordre de grandeur que Data-Network, très faible devant DataCentre (20µJ/bit).

| Flux d'entrée | Quantité | Unité | Provider |
|------------------|---------------------|--------------|------------------|
| Data-Cellular | DatakmLoc | Item(s) (Go) | Data-Cellular |
| Data-Data Centre | DatakmLoc+DatakmMap | Item(s) (Go) | Data-Data Centre |
| Data-Network | DatakmLoc+DatakmMap | Item(s) (Go) | Data-Network |

Veh-Perception-Data

(veh.km) Contributions liées à la consommation de données (données reçues par le véhicule) pour les besoins de perception (perception augmentée grâce à d'autres sources). Qui comprennent l'énergie du réseau de transmission typiquement cellulaire, wifi ou de courte portée ainsi que data centers éventuels utilisés pour mettre à disposition ces données.

Inclure :

- communication V2V via les unités de communication de courte portée des deux véhicules. -> L'énergie de l'OBU est déjà comptabilisée dans V2X-Vie en oeuvre.

- Alternativement les véhicules peuvent partager des informations entre eux par le réseau de longue portée (cellulaire) via le cloud du gestionnaire de trafic ou autre fournisseur de ce service. ->ok, le cas échéant, quantité à inclure dans DataTempCPMDL. Remarque : on fait l'hypothèse d'un hébergement des données ailleurs que sur CentrAgreg donc la consommation du serveur est comptabilisée ici (Data-Data Centre).

- communication I2V (trafic et incidents) : ces informations sont transmises par réseau cellulaire depuis le serveur du gestionnaire d'infrastructure ou autre fournisseur de ce service (informations de type navigation). -> ok, inclus dans DataTempCPMDL. Remarque : on fait l'hypothèse d'un hébergement des données ailleurs que sur CentrAgreg donc la consommation du serveur est comptabilisée ici (Data-Data Centre).

- communication I2V (connectivité aux intersections) via l'unité de bord de route et l'unité de communication de courte portée du véhicule. -> L'énergie de l'OBU est déjà comptabilisée dans V2X-

Vie en œuvre et celle des UBR est comptabilisée dans X-Telecom-Vie en œuvre. Et l'information de l'état du feu de circulation est transmise directement (en filaire donc non modélisé ici) depuis le feu lui-même jusqu'au contrôleur de carrefour puis vers l'UBR, elle est par ailleurs centralisée sur un serveur externalisé (ce transfert est comptabilisé dans traitement données – data).

- communication I2V (perception débarquée) via l'unité de bord de route de l'équipement (caméra ou LiDar) de bord de route et l'unité de communication de courte portée du véhicule. -> L'énergie de l'OBV est déjà comptabilisée dans V2X-Vie en œuvre et celle des UBR est comptabilisée dans X-Telecom-Vie en œuvre. Et le coût énergétique de transmission de l'information issue du traitement des données de l'équipement (caméra ou LiDar) vers l'UBR est comptabilisé dans Infra-Telecom-Data.

| Flux d'entrée | Quantité | Unité | Provider |
|------------------|-----------------------------|--------------|------------------|
| Data-Cellular | DataTempCPMDL*MKDrivingTime | Item(s) (Go) | Data-Cellular |
| Data-Data Centre | DataTempCPMDL*MKDrivingTime | Item(s) (Go) | Data-Data Centre |
| Data-Network | DataTempCPMDL*MKDrivingTime | Item(s) (Go) | Data-Network |

Veh-IHM-Data

(veh.km) Contributions liées à la consommation de données reçues par le véhicule depuis le centre de supervision pour l'interaction avec les passagers: interphonie en cas d'incident et informations voyageurs + itinéraires alternatifs en cas de besoin. Qui comprennent l'énergie du réseau de transmission typiquement cellulaire, wifi ou de courte portée ainsi que data centers éventuels utilisés pour mettre à disposition ces données.

Remarques et précautions : le produit DataTempsIHM * IHMTemps représente la quantité quotidienne moyenne de données échangées en Go. On inclut ici le fonctionnement d'un data centre pour la mise à disposition de ces données – il s'agit du serveur du Cloud de supervision. Le calcul est réalisé pour toute la durée de vie du véhicule puis ramené au km parcouru.

| Flux d'entrée | Quantité | Unité | Provider |
|------------------|---|--------------|------------------|
| Data-Cellular | IHMTemps *DataTempsIHM *365*LSVehPF/DistTotVehU | Item(s) (Go) | Data-Cellular |
| Data-Data Centre | IHMTemps *DataTempsIHM *365*LSVehPF/DistTotVehU | Item(s) (Go) | Data-Data Centre |
| Data-Network | IHMTemps *DataTempsIHM *365*LSVehPF/DistTotVehU | Item(s) (Go) | Data-Network |

Veh-V2X-Data

(veh.km) Contributions liées à la consommation de données pour la vérification du PKI nécessaire pour toute communication V2X (V2V ou I2V ou V2I). Qui comprennent l'énergie du réseau de transmission typiquement cellulaire, wifi ou de courte portée ainsi que data centers éventuels utilisés pour mettre à disposition ces données.

Inclure :

- Data associés à la gestion du pseudo PKI du véhicule considéré (obtenir un PKI temporaire depuis le serveur) -> ok, cf hypothèses de modélisation ci-dessous

- Data associée à la validation des PKI reçus de la part des autres véhicules connectés rencontrés (V2V) et des UBRs rencontrés (I2V pour connectivité aux intersections et la perception débarquée)-> ok, cf hypothèses de modélisation ci-dessous.

PKI (obtenir un PKI temporaire), hypothèses:

Processus à vérifier (simplifié): Les certificats stockés sur les serveurs sont transmis (cellulaire ou fibre/câble) aux UBRs qui les transmettent (DSRC ou cellulaire) aux véhicules. On privilégie l'hypothèse de transmission par DSRC pour ce dernier lien. Et on suppose qu'une partie seulement des UBR est câblée/fibrée.

Les PKI sont temporaires et ont une durée de vie limitée lors d'un déplacement. On peut donc estimer le nombre de PKI obtenus au cours de la durée de vie du véhicule. On prend en compte l'énergie du cloud et de la transmission (réseau câble/fibre ou cellulaire) mais la consommation d'énergie des UBR et du DSRC est déjà prise en compte ailleurs.

PKI (validation des PKI des UBRs et des autres véhicules qui cherchent à communiquer), hypothèses:

Les UBRs ou les véhicules transmettent au véhicule leur PKI (via DSRC) ; le véhicule envoie ce PKI au serveur (cellulaire + cloud) qui lui renvoie une réponse (cellulaire).

On prend en compte l'énergie consommée par le réseau dans un sens et dans l'autre (cellulaire) et le cloud mais l'énergie de l'UBR et du DSRC est déjà prise en compte ailleurs (donc l'envoi des PKI et leur réception par le véhicule par DSRC est déjà pris en compte).

On doit estimer le nombre d'UBR et de véhicules connectés que rencontre un véhicule durant sa durée de vie. Pour les UBR, s'appuie sur la densité totale d'UBRs $DensLinUBRTot$.

Pour les véhicules rencontrés on s'appuie également sur la densité linéaire de véhicules sur la route. On utilise la relation suivante: $K=Q/V$ (K-densité, Q – flux, V- vitesse) pour déterminer la densité moyenne. De plus on prendra comme hypothèse que le véhicule communique avec les autres véhicules situés au plus à 500m devant et derrière lui et on prend en compte une part de véhicules connectés dans le flux. Et pour l'ensemble de sa durée de vie on multiplie ce chiffre par la distance totale parcourue.

Remarque et précautions : compte tenu du faible volume de données que ces échanges représentent, cette consommation pourrait être remplacée par une consommation forfaitaire, par exemple équivalente à la consommation de data cellulaire de fond d'un smartphone.

| Flux d'entrée | Quantité | Unité | Provider |
|---------------------|---|-----------------|---------------------|
| Data-Cellular | TaillePKI *MKmDrivingTime /DureeMoyPKI *(1-PartRSUFibre) | Item(s) (Go) | Data-Cellular |
| Data-Cellular | TaillePKI *(DensLinUBRTot +DensMoyVehRenc*PartVehConnectes) *2 | Item(s) (Go) | Data-Cellular |
| Data-Data Centre | TaillePKI *(DensLinUBRTot+DensMoyVehRenc*PartVehConnectes) | Item(s) (Go) | Data-Data Centre |
| Data-Data Centre | TaillePKI *MKmDrivingTime /DureeMoyPKI | Item(s) (Go) | Data-Data Centre |
| Data-Network | TaillePKI *(DensLinUBRTot+DensMoyVehRenc*PartVehConnectes)*2 | Item(s) (Go) | Data-Network |
| Data-Network | TaillePKI *MKmDrivingTime/DureeMoyPKI | Item(s) (Go) | Data-Network |

Avec l'estimation du paramètre suivante :

| | |
|----------------|--|
| DensMoyVehRenc | PartUrb *(MHTUrb /MHSUrb)+PartAutoroute*(MHTAutoroute /MHSAutoroute)+PartRural*(MHTRural/MHSRural) |
|----------------|--|

Veh-R&D-Data

(veh.km) Contributions liées à la consommation de données récoltées par le développeur de la technologie d'automatisation (TechADProvider) pour les besoins de monitoring et de R&D. Qui comprennent l'énergie du réseau de transmission typiquement cellulaire, wifi ou de courte portée ainsi que data centers éventuels utilisés pour mettre à disposition ces données.

Inclure :

- Transmission du log en cas d'incident -> ok, l'hypothèse de la transmission par Wifi au dépôt une fois par jour (l'énergie du point d'accès Wifi n'est pas modélisé).
- Monitoring par le TechADProvider -> ok.

Limites et précautions :

- L'attribution de la transmission du log est discutable – s'il s'agit de collecte de données pour les besoins de R&D il faut affiner combien de véhicules transmettront ces données et combien en bénéficieront pour affiner les facteurs d'attribution.
- L'hypothèse du monitoring par le TechADProvider prise dans ce modèle est que la transmission de données est réalisée « en double » - une fois pour le superviseur et une deuxième fois pour le TechADProvider. En réalité le TechADProvider pourraient récolter l'ensemble des données et données une API au superviseur – opérateur du service.
- Le point d'accès Wifi non modélisé. D'après le rapport CEET utilisé pour les consommations énergétiques de l'accès aux données via Cloud, l'accès par Wifi public représente environ $0.4\mu\text{J/bit}$, du même ordre de grandeur que Data-Network, très faible devant DataCentre ($20\mu\text{J/bit}$).

| Flux d'entrée | Quantité | Unité | Provider |
|---------------------|---|-----------------|---------------------|
| Data-Cellular | DataTempMonitor *MKmDrivingTime | Item(s) (Go) | Data-Cellular |
| Data-Data Centre | TailleLog*365*LSVehPF/DistTotVehU +DataTempMonitor *MKmDrivingTime | Item(s) (Go) | Data-Data Centre |
| Data-Network | TailleLog*365*LSVehPF/DistTotVehU +DataTempMonitor *MKmDrivingTime | Item(s) (Go) | Data-Network |

Non modélisés :

Veh-Decision-Data

(veh.km) Contributions liées à la consommation de données par le système de décision du véhicule. Cela comprend la réception des données d'ordre de mission en fonctionnement normal, la réception de mises à jour logiciel régulières, ainsi que la réception d'ordres pour la télé-opération en cas d'incident ou la validation exceptionnelle par le superviseur de demandes de manœuvres.

| Flux d'entrée | Quantité | Unité | Provider |
|--|----------|-------|----------|
| Flux de sortie (si hors flux de référence) | | | |
| | | | |

4.4.1.4 Processus pour l'agrégation des résultats

Vehicule-Plate-forme

(veh.km) Agrégation des contributions des phases de production et fin de vie et de la vie en œuvre.

Plate-forme électrique, capacité variable selon les cas d'usage. Eléments "traditionnels" hors actionneurs nécessaires à la robotisation du véhicule.

| Flux d'entrée | Quantité | Unité | Provider |
|------------------------------------|----------|----------|------------------------------------|
| Veh-Plate-forme-Prod et fin de vie | 1.0 | Items*km | Veh-Plate-forme-Prod et fin de vie |
| Veh-Plate-forme-Vie en oeuvre | 1.0 | Items*km | Veh-Plate-forme-Vie en oeuvre |

Vehicule-Localisation

(veh.km) Agrégation des contributions des phases de production et fin de vie, de la vie en œuvre et celles de la consommation de data.

Géopositionnement du véhicule (hors caméras ou Lidars ou radars, qui sont déjà inclus dans le système de perception, qui peuvent prendre le relais en cas de perte GNSS)

| Flux d'entrée | Quantité | Unité | Provider |
|-------------------------------------|----------|----------|-------------------------------------|
| Veh-Localisation-Data | 1.0 | Items*km | Veh-Localisation-Data |
| Veh-Localisation-Prod et fin de vie | 1.0 | Items*km | Veh-Localisation-Prod et fin de vie |
| Veh-Localisation-Vie en oeuvre | 1.0 | Items*km | Veh-Localisation-Vie en oeuvre |

Vehicule-Perception

(veh.km). Agrégation des contributions des phases de production et fin de vie, de la vie en œuvre et celles de la consommation de data.

Perception de l'environnement externe du véhicule + Perception de l'état du véhicule + assurer la redondance des informations ou l'anticipation des situations de conduite.

| Flux d'entrée | Quantité | Unité | Provider |
|-----------------------------------|----------|----------|-----------------------------------|
| Veh-Perception-Data | 1.0 | Items*km | Veh-Perception-Data |
| Veh-Perception-Prod et fin de vie | 1.0 | Items*km | Veh-Perception-Prod et fin de vie |
| Veh-Perception-Vie en oeuvre | 1.0 | Items*km | Veh-Perception-Vie en oeuvre |

Vehicule-Decision

(veh.km). Agrégation des contributions des phases de production et fin de vie, de la vie en œuvre et celles de la consommation de data.

Automatisation de la prise de décision concernant la trajectoire, l'itinéraire, la sécurité interne (ordinateur et actionneurs).

Précisions et limites : la contribution de la consommation des data de ce système n'a pas été modélisée pour l'instant.

| Flux d'entrée | Quantité | Unité | Provider |
|---------------------------------|----------|----------|---------------------------------|
| Veh-Decision-Prod et fin de vie | 1.0 | Items*km | Veh-Decision-Prod et fin de vie |
| Veh-Decision-Vie en oeuvre | 1.0 | Items*km | Veh-Decision-Vie en oeuvre |

Vehicule-IHM

(veh.km). Agrégation des contributions des phases de production et fin de vie, de la vie en œuvre et celles de la consommation de data.

Communication avec des personnes : usagers, passagers, safety driver, personnel sur site, au centre de gestion du trafic et de l'infrastructure, au centre de supervision, IHM.

| Flux d'entrée | Quantité | Unité | Provider |
|----------------------------|----------|----------|----------------------------|
| Veh-IHM-Data | 1.0 | Items*km | Veh-IHM-Data |
| Veh-IHM-Prod et fin de vie | 1.0 | Items*km | Veh-IHM-Prod et fin de vie |
| Veh-IHM-Vie en oeuvre | 1.0 | Items*km | Veh-IHM-Vie en oeuvre |

Vehicule-V2X

(veh.km). Agrégation des contributions des phases de production et fin de vie, de la vie en œuvre et celles de la consommation de data.

Elements nécessaires pour assurer la communication entre objets : Véhicule à Véhicule, Véhicule à Infrastructure, Véhicule à PCC (gestion de l'infrastructure et du trafic) ou centre de supervision TC (supervision du service).

| Flux d'entrée | Quantité | Unité | Provider |
|----------------------------|----------|----------|----------------------------|
| Veh-V2X-Data | 1.0 | Items*km | Veh-V2X-Data |
| Veh-V2X-Prod et fin de vie | 1.0 | Items*km | Veh-V2X-Prod et fin de vie |
| Veh-V2X-Vie en oeuvre | 1.0 | Items*km | Veh-V2X-Vie en oeuvre |

Vehicule-R&D

(veh.km). Agrégation des contributions des phases de production et fin de vie, de la vie en œuvre et celles de la consommation de data.

| Flux d'entrée | Quantité | Unité | Provider |
|----------------------------|----------|----------|----------------------------|
| Veh-R&D-Data | 1.0 | Items*km | Veh-R&D-Data |
| Veh-R&D-Prod et fin de vie | 1.0 | Items*km | Veh-R&D-Prod et fin de vie |
| Veh-R&D-Vie en oeuvre | 1.0 | Items*km | Veh-R&D-Vie en oeuvre |

Vehicule

(veh.km) Ensemble des contributions des différents systèmes techniques embarqués sur le véhicule au sein d'un mode automatisé.

Doit inclure :

- Plate-forme
- Localisation
- Perception
- Décision (dont actionneurs doublés)
- IHM
- V2X
- R&D

| Flux d'entrée | Quantité | Unité | Provider |
|-----------------------|----------|----------|-----------------------|
| Vehicule-Decision | 1.0 | Items*km | Vehicule-Decision |
| Vehicule-IHM | 1.0 | Items*km | Vehicule-IHM |
| Vehicule-Localisation | 1.0 | Items*km | Vehicule-Localisation |
| Vehicule-Perception | 1.0 | Items*km | Vehicule-Perception |
| Vehicule-Plate-forme | 1.0 | Items*km | Vehicule-Plate-forme |
| Vehicule-R&D | 1.0 | Items*km | Vehicule-R&D |
| Vehicule-V2X | 1.0 | Items*km | Vehicule-V2X |

4.4.2 Supervision

4.4.2.1 Composant

Les composants n'ont pas été modélisés explicitement, cf niveau Cas d'usage (par exemple prise en compte de serveurs via la consommation énergétique Data-DataCentre).

4.4.2.2 Architecture

4.4.2.2.1 Production et fin de vie

Supervision service-Prod et fin de vie

(veh.km) Contributions liées aux phases de fabrication et de fin de vie du centre de supervision et de l'ensemble de ses équipements, incluant leurs remplacements, attribuables, compte tenu de la flotte de véhicules des services utilisant ce centre de supervision, à un veh.km.

Inclure :

- Fabrication des composants du centre de supervision (bâtiment, postes de travail, serveurs internes de stockage de données, serveurs de calcul) -> non modélisé (on fait l'hypothèse que compte tenu du degré de mutualisation de ces équipements par l'ensemble des services de mobilité desservis par ce centre de supervision, la contribution de la phase de fabrication et de fin de vie est négligeable).
- Installation des différents composants du centre de supervision (bâtiment, postes de travail, serveurs internes de stockage de données, serveurs de calcul) -> idem
- Fin de vie des différents composants du centre de supervision (bâtiment, postes de travail, serveurs internes de stockage de données, serveurs de calcul) -> non modélisé

| Flux d'entrée | Quantité | Unité | Provider |
|--|----------|-------|----------|
| Flux de sortie (si hors flux de référence) | | | |
| | | | |

Monitoring-Prod et fin de vie

(veh.km) Contributions liées aux phases de fabrication et de fin de vie de l'ensemble des équipements spécifiques au monitoring technique des véhicules des services autres que ceux modélisés dans le centre de supervision, incluant leurs remplacements, attribuables, compte tenu de la flotte de véhicules des services nécessitant ce monitoring, à un veh.km.

Inclure :

- Pas d'équipements supplémentaires identifiés à ce stade.

(ce processus pourrait être supprimé à l'avenir).

| Flux d'entrée | Quantité | Unité | Provider |
|--|----------|-------|----------|
| | | | |
| Flux de sortie (si hors flux de référence) | | | |
| | | | |

Equipes terrain-Prod et fin de vie

(veh.km) Contributions liées aux phases de fabrication et de fin de vie de l'ensemble des équipements des équipes terrain, incluant leurs remplacements, attribuables, compte tenu de la flotte de véhicules des services faisant appel à ces équipes de terrain, à un veh.km.

Inclure :

- Véhicules des équipes d'intervention -> non modélisé (on fait l'hypothèse que compte tenu du degré de mutualisation de ces équipements par l'ensemble des services de mobilité desservis par ces équipes de terrain, la contribution de la phase de fabrication et de fin de vie est négligeable)

- Tablettes raccordées au FMS (Fleet Management System), radios TETRA -> idem

| Flux d'entrée | Quantité | Unité | Provider |
|--|----------|-------|----------|
| | | | |
| Flux de sortie (si hors flux de référence) | | | |
| | | | |

4.4.2.2.2 Vie en œuvre

Supervision service-Vie en oeuvre

(veh.km) Contributions liées à la phase de vie en oeuvre du centre de supervision et de l'ensemble de ses équipements, attribuables, compte tenu de la flotte de véhicules des services utilisant ce centre de supervision, à un veh.km.

Inclure:

- Usage et maintenance des différents composants du centre de supervision (bâtiment, postes de travail, radio et téléphonie, serveurs internes de stockage de données, serveurs de calcul)-> seuls la consommation électrique des postes de travail informatiques dédiés est prise en compte

- (alternativement, lorsque l'hébergement des données et les calculs sont externalisés) Usage des serveurs hébergeant la plate-forme de supervision virtuelle (stockage et calcul) -> ce poste est pris en compte dans les transferts de données (cf Data-Data Centre)

| Flux d'entrée | Quantité | Unité | Provider |
|--|--------------------------------------|-------|--|
| operation, computer, desktop, with liquid crystal display, active mode | PersonnelOperationVeh*MkMDrivingTime | h | market for operation, computer, desktop, with liquid crystal display, active mode operation, computer, desktop, with liquid crystal display, active mode Cutoff, S - GLO |

Monitoring-Vie en oeuvre

(veh.km) Contributions liées à la phase de vie en oeuvre de l'ensemble des équipements nécessaires pour le monitoring technique des véhicules, attribuables, compte tenu de la flotte de véhicules des services nécessitant ce monitoring, à un veh.km.

- Usage et maintenance des différents équipements nécessaires au monitoring techniques -> hormis les postes informatiques, aucun équipement supplémentaire n'a été identifié, seule la consommation électrique des postes de travail informatiques dédiés est prise en compte.

| Flux d'entrée | Quantité | Unité | Provider |
|--|------------------------------------|-------|--|
| operation, computer, desktop, with liquid crystal display, active mode | PersonnelMonitorVeh*MKmDrivingTime | h | market for operation, computer, desktop, with liquid crystal display, active mode operation, computer, desktop, with liquid crystal display, active mode Cutoff, S - GLO |

Equipes terrain-Vie en oeuvre

(veh.km) Contributions liées à la phase de vie en oeuvre des interventions des équipes terrain et de l'ensemble de leurs équipements, attribuables, compte tenu de la flotte de véhicules des services faisant appel à ces équipes de terrain, à un veh.km.

Inlcure :

- Usage des véhicules des équipes de terrain, notamment leur déplacement lors des interventions. -> non modélisé.

- Consommation électrique des tablettes et autres équipements des équipes de terrain -> non modélisé.

| Flux d'entrée | Quantité | Unité | Provider |
|--|----------|-------|----------|
| Flux de sortie (si hors flux de référence) | | | |
| | | | |

4.4.2.3 Cas d'usage

4.4.2.3.1 Production et fin de vie

Sup-Supervision service - Prod et fin de vie

(veh.km) Contributions liées aux phases de fabrication et de fin de vie du centre de supervision et de ses équipements, attribuables à un veh.km du véhicule étudié, compte tenu de son usage effectif.

Remarque : dans le modèle actuel, pas de modification entre le niveau « architecture » et le niveau « cas d'usage » car il n'y a qu'une seule architecture d'équipements modélisée pour la supervision service et la relation client.

| Flux d'entrée | Quantité | Unité | Provider |
|--|----------|----------|--|
| Supervision service-Prod et fin de vie | 1.0 | Items*km | Supervision service-Prod et fin de vie |

Sup-Monitoring- Prod et fin de vie

(veh.km) Contributions liées aux phases de fabrication et de fin de vie des équipements spécifiques au monitoring technique des véhicules du service autres que ceux modélisés dans le centre de supervision, attribuables à un veh.km du véhicule étudié, compte tenu de son usage effectif.

Remarque : dans le modèle actuel, pas de modification entre le niveau « architecture » et le niveau « cas d'usage » car il n'y a qu'une seule architecture d'équipements modélisée pour le monitoring technique.

| Flux d'entrée | Quantité | Unité | Provider |
|-------------------------------|----------|----------|-------------------------------|
| Monitoring-Prod et fin de vie | 1.0 | Items*km | Monitoring-Prod et fin de vie |

Sup-Equipes terrain-Prod et fin de vie

(veh.km) Contributions liées aux phases de fabrication et de fin de vie des équipements des équipes terrain, attribuables à un veh.km du véhicule étudié, compte tenu de son usage effectif.

Remarque : dans le modèle actuel, pas de modification entre le niveau « architecture » et le niveau « cas d'usage » car il n'y a qu'une seule architecture d'équipements modélisée pour les équipes terrain.

| Flux d'entrée | Quantité | Unité | Provider |
|------------------------------------|----------|----------|------------------------------------|
| Equipes terrain-Prod et fin de vie | 1.0 | Items*km | Equipes terrain-Prod et fin de vie |

4.4.2.3.2 Vie en oeuvre

Sup-Supervision service-Vie en oeuvre

(veh.km) Contributions liées à la phase de vie en oeuvre du centre de supervision et de ses équipements, attribuables à un veh.km du véhicule étudié, compte tenu de son usage effectif.

Remarque : dans le modèle actuel, pas de modification entre le niveau « architecture » et le niveau « cas d'usage » car il n'y a qu'une seule architecture d'équipements modélisée pour la supervision service et la relation client.

| Flux d'entrée | Quantité | Unité | Provider |
|-----------------------------------|----------|----------|-----------------------------------|
| Supervision service-Vie en oeuvre | 1.0 | Items*km | Supervision service-Vie en oeuvre |

Sup-Monitoring-Vie en oeuvre

(veh.km) Contributions liées la phase de vie en oeuvre des équipements spécifiques au monitoring technique des véhicules du service autres que ceux modélisés dans le centre de supervision, attribuables à un veh.km du véhicule étudié, compte tenu de son usage effectif.

Remarque : dans le modèle actuel, pas de modification entre le niveau « architecture » et le niveau « cas d'usage » car il n'y a qu'une seule architecture d'équipements modélisée pour le monitoring technique.

| Flux d'entrée | Quantité | Unité | Provider |
|--------------------------|----------|----------|--------------------------|
| Monitoring-Vie en oeuvre | 1.0 | Items*km | Monitoring-Vie en oeuvre |

Sup-Equipes terrain-Vie en oeuvre

(veh.km) Contributions liées à la phase de vie en oeuvre des équipements des équipes terrain, attribuables à un veh.km du véhicule étudié, compte tenu de son usage effectif.

Remarque : dans le modèle actuel, pas de modification entre le niveau « architecture » et le niveau « cas d'usage » car il n'y a qu'une seule architecture d'équipements modélisée pour les équipes terrain.

| Flux d'entrée | Quantité | Unité | Provider |
|-------------------------------|----------|----------|-------------------------------|
| Equipes terrain-Vie en oeuvre | 1.0 | Items*km | Equipes terrain-Vie en oeuvre |

4.4.2.3.3 Data

Sup-Supervision service-Data

(veh.km) Contributions liées à la consommation de données reçues par la supervision pour les besoins d'opération et de télé-surveillance de service. Qui comprennent l'énergie du réseau de transmission typiquement cellulaire, wifi ou de courte portée ainsi que data centers éventuels utilisés pour mettre à disposition ces données.

Inclure :

- Données d'opération de service issues du véhicule (si autres que données de monitoring). ->ok, regroupées dans DataTempOper et transmises par cellulaire jusqu'au serveur Cloud de supervision (hypothèse de gestion externalisée).

- Données d'opération de service issues de l'application MaaS. -> non modélisé.

- Flux vidéo de télé-surveillance des caméras embarquées intérieures ou extérieures. -> ok, représenté par NbCamSup qui est le nombre moyen de caméras envoyant leur flux à tout instant. Mais transfert du serveur de supervision au superviseur non modélisé (cf plus bas).

- Flux vidéo de télé-surveillance des caméras débarquées sur l'infrastructure. -> ok pour le contexte urbain et rural où les caméras débarquées envoient systématiquement le flux vers la supervision (cf plus bas pour les hypothèses) mais transfert du serveur de supervision au superviseur non modélisé (cf plus bas). Le fonctionnement pour les services diffus n'est pas modélisé (cf plus bas) – dans ce fonctionnement les caméras n'envoient leur flux que lorsqu'il y a un incident.

Remarques, précautions et hypothèses :

- Pour le facteur d'attribution des données on fait l'hypothèse que leur collecte sert plusieurs véhicules faisant partie de la flotte de véhicules supervisés (pour l'opération). Sur une année la data kilométrique générée par un véhicule doit alors être multipliée par le nombre de véhicules de la flotte et le nombre de kilomètres parcourus par ces véhicules. Puis, pour l'attribution on divise par le nombre de véhicules.km parcourus du service (on divise donc par la même quantité) -> la formule est simplifiée.

- NbCamSup représente le nombre moyen de caméras embarquées qui envoient le flux vidéo au serveur de supervision. On fait l'hypothèse que les données provenant des caméras du véhicule sont transmises par le réseau cellulaire à la supervision. Cependant ce flux n'est pas systématiquement transmis au superviseur – le superviseur ne reçoit le flux que lorsqu'une alerte est générée. Ce deuxième transfert de données, par réseau câble ou fibre n'a pas été modélisé mais l'énergie consommée est très faible (rapport de 100) par rapport à l'énergie de la transmission cellulaire.

- Dans le contexte urbain et rural (représentant, dans cette modélisation, les services à itinéraires fixes), le véhicule rencontre sur chaque km parcouru un nombre de caméras lié à la densité de celles-ci sur le territoire. On fait l'hypothèse que chaque caméra "suit" le véhicule sur 200m et donc que la durée sur laquelle elle transfère son flux dépend de la vitesse moyenne du véhicule. On fait l'hypothèse que le flux provenant des caméras sur l'itinéraire est transmis par réseau cellulaire lorsque les UBRs ne sont pas câblés/fibré et par câble/fibre sinon.

- De même que pour les caméras embarquées, le flux des caméras débarquées en contexte urbain et rural n'est retransmis au superviseur que lorsqu'il y a une alerte. Ce deuxième transfert de données, par réseau câble ou fibre n'a pas été modélisé.

- Pour les services diffus, l'hypothèse est que les caméras débarquées, lorsqu'elles existent, envoient du flux vidéo à la supervision de service uniquement en cas d'incident (et non pas systématiquement lorsque le véhicule passe à proximité).

| Flux d'entrée | Quantité | Unité | Provider |
|------------------|---|-----------------|------------------|
| Data-Cellular | DataTempOper*MKmDrivingTime | Item(s) (Go) | Data-Cellular |
| Data-Cellular | NbCamSup*MKmDrivingTime *DataTempsVideo +(PartUrb *DensLinRSCameraUrb *(1-PartRSUFibre)*0.2/AvSpdUrbVeh+PartRural *DensLinRSCameraRural *(1-PartRSUFibre)*0.2/AvSpdRuralVeh)*DataTempsVideo | Item(s) (Go) | Data-Cellular |
| Data-Data Centre | DataTempOper*MKmDrivingTime | Item(s) (Go) | Data-Data Centre |
| Data-Data Centre | NbCamSup *MKmDrivingTime *DataTempsVideo +(PartUrb *DensLinRSCameraUrb *0.2/AvSpdUrbVeh+PartRural *DensLinRSCameraRural *0.2/AvSpdRuralVeh)*DataTempsVideo | Item(s) (Go) | Data-Data Centre |
| Data-Network | NbCamSup *MKmDrivingTime *DataTempsVideo +(PartUrb *DensLinRSCameraUrb *0.2/AvSpdUrbVeh+PartRural *DensLinRSCameraRural *0.2/AvSpdRuralVeh)*DataTempsVideo | Item(s) (Go) | Data-Network |
| Data-Network | DataTempOper*MkmDrivingTime | Item(s) (Go) | Data-Network |

Sup-Monitoring-Data

(veh.km) Contributions liées à la consommation de données reçues par la supervision pour les besoins de monitoring technique des véhicules. Qui comprennent l'énergie du réseau de transmission typiquement cellulaire, wifi ou de courte portée ainsi que data centers éventuels utilisés pour mettre à disposition ces données.

Inclure :

- Données de monitoring technique (état de fonctionnement des différents composants du véhicule).
->ok, représenté par DataTempMonitor.

- Données de diagnostic infrastructure et stations. -> non modélisé.

Limites :

- Ici nous avons modélisé le transfert par réseau cellulaire des données de monitoring jusqu'au serveur Cloud de supervision. Cependant le transfert de ces données par fibre jusqu'au superviseur humain ou jusqu'à un serveur de stockage n'est pas modélisé (l'énergie consommée est bien inférieure).

| Flux d'entrée | Quantité | Unité | Provider |
|------------------|--------------------------------|--------------|------------------|
| Data-Cellular | DataTempMonitor*MKmDrivingTime | Item(s) (Go) | Data-Cellular |
| Data-Data Centre | DataTempMonitor*MKmDrivingTime | Item(s) (Go) | Data-Data Centre |
| Data-Network | DataTempMonitor*MKmDrivingTime | Item(s) (Go) | Data-Network |

4.4.2.4 Processus pour l'agrégation des résultats

Supervision-Supervision service

(veh.km) Agrégation des contributions des phases de production et fin de vie, de la vie en œuvre et celles de la consommation de data.

Ensemble des composants et leur fonctionnement du centre de supervision lui-même.

| Flux d'entrée | Quantité | Unité | Provider |
|--|----------|----------|--|
| Sup-Supervision service - Prod et fin de vie | 1.0 | Items*km | Sup-Supervision service - Prod et fin de vie |
| Sup-Supervision service-Data | 1.0 | Items*km | Sup-Supervision service-Data |
| Sup-Supervision service-Vie en oeuvre | 1.0 | Items*km | Sup-Supervision service-Vie en oeuvre |

Supervision-Monitoring

(veh.km) Agrégation des contributions des phases de production et fin de vie, de la vie en œuvre et celles de la consommation de data.

Ensemble des données remontant au centre de supervision nécessaires pour la supervision des systèmes techniques.

| Flux d'entrée | Quantité | Unité | Provider |
|------------------------------------|----------|----------|------------------------------------|
| Sup-Monitoring- Prod et fin de vie | 1.0 | Items*km | Sup-Monitoring- Prod et fin de vie |
| Sup-Monitoring-Data | 1.0 | Items*km | Sup-Monitoring-Data |
| Sup-Monitoring-Vie en oeuvre | 1.0 | Items*km | Sup-Monitoring-Vie en oeuvre |

Supervision-Equipes terrain

(veh.km) Agrégation des contributions des phases de production et fin de vie et de la vie en œuvre.

Limites : la consommation des données par les équipes terrain n'a pas été modélisée (data reçues sur les tablettes depuis l'application FMS).

| Flux d'entrée | Quantité | Unité | Provider |
|--|----------|----------|--|
| Sup-Equipes terrain-Prod et fin de vie | 1.0 | Items*km | Sup-Equipes terrain-Prod et fin de vie |
| Sup-Equipes terrain-Vie en oeuvre | 1.0 | Items*km | Sup-Equipes terrain-Vie en oeuvre |

Supervision

(veh.km) Ensemble des contributions des différents systèmes techniques nécessaires à la supervision de la mobilité autonome.

Doit inclure :

- Supervision service
- Monitoring Technique
- Equipes terrain

| Flux d'entrée | Quantité | Unité | Provider |
|---------------------------------|----------|----------|---------------------------------|
| Supervision-Equipes terrain | 1.0 | Items*km | Supervision-Equipes terrain |
| Supervision-Monitoring | 1.0 | Items*km | Supervision-Monitoring |
| Supervision-Supervision service | 1.0 | Items*km | Supervision-Supervision service |

4.4.3 Infrastructure

4.4.3.1 Composant

4.4.3.1.1 Production et fin de vie

RSU

(nombre) Contributions liées à la fabrication et fin de vie d'une unité de communication de courte portée de bord de route (RSU=Road Side Unit), paramétrées par son poids.

Doit inclure :

- Matières premières ->ok, reprise des caractéristiques identiques à celles utilisées pour l'unité embarquée.
- Processus de fabrication -> ok, reprise des hypothèses de modélisation de l'unité embarquée
- Transport de matières premières jusqu'au site de production puis des composants finis du site de production vers le site d'assemblage -> pas explicitement, cf hypothèses dans les providers.
- Processus de fin de vie -> non encore modélisé.

Limites et précautions :

Hypothèses matériaux et processus industriels reprennent celles faites pour les matériaux de la caméra embarquée. Si elles changent, il faudra les changer également. Cela concerne les hypothèses sur le plastique et les matériaux électrochimiques. Les hypothèses sur l'aluminium viennent de la structure. Les hypothèses proposées dans la littérature concernant la perte de matière première n'ont pas été utilisées car les processus proposés dansecoinvent contiennent déjà leur propres hypothèses de perte de matière.

| Flux d'entrée | Quantité | Unité | Provider |
|--|---|-------|--|
| acrylonitrile-butadiene-styrene copolymer | RSUWeight*PlasticFraction/0.994/0.997 | kg | market for acrylonitrile-butadiene-styrene copolymer acrylonitrile-butadiene-styrene copolymer Cutoff, S - GLO |
| aluminium, wrought alloy | RSUWeight*AluminumFraction | kg | market for aluminium, wrought alloy aluminium, wrought alloy Cutoff, S - GLO |
| blow moulding | RSUWeight*PlasticFraction/0.997 | kg | market for blow moulding blow moulding Cutoff, S - GLO |
| cable, ribbon cable, 20-pin, with plugs | RSUWeight*CopperFraction | kg | market for cable, ribbon cable, 20-pin, with plugs cable, ribbon cable, 20-pin, with plugs Cutoff, S - GLO |
| injection moulding | RSUWeight*PlasticFraction/0.994/0.997 | kg | market for injection moulding injection moulding Cutoff, S - GLO |
| integrated circuit, memory type | RSUWeight*ElectronicsFraction*ElectronicsICPackageSubfraction | kg | market for integrated circuit, memory type integrated circuit, memory type Cutoff, S - GLO |
| metal working, average for aluminium product manufacturing | RSUWeight*AluminumFraction | kg | market for metal working, average for aluminium product manufacturing metal working, average for aluminium product manufacturing Cutoff, S - GLO |
| metal working, average for steel product manufacturing | RSUWeight*SteelFraction | kg | market for metal working, average for steel product manufacturing metal working, average for steel product manufacturing Cutoff, S - GLO |

| | | | |
|--|--|----------------|--|
| power supply unit, for desktop computer | $(1/1.4434)*RSUWeight*ElectronicsFraction*ElectronicsPowerSupplySubfraction$ | Item (s) | market for power supply unit, for desktop computer power supply unit, for desktop computer Cutoff, S - GLO |
| printed wiring board, through-hole mounted, unspecified, Pb containing | $0.3*RSUWeight*ElectronicsFraction*ElectronicsPWBSubfraction$ | kg | market for printed wiring board, through-hole mounted, unspecified, Pb containing printed wiring board, through-hole mounted, unspecified, Pb containing Cutoff, S - GLO |
| printed wiring board, through-hole mounted, unspecified, Pb free | $0.7*RSUWeight*ElectronicsFraction*ElectronicsPWBSubfraction$ | kg | market for printed wiring board, through-hole mounted, unspecified, Pb free printed wiring board, through-hole mounted, unspecified, Pb free Cutoff, S - GLO |
| sheet rolling, aluminium | $RSUWeight*AluminumFraction$ | kg | market for sheet rolling, aluminium sheet rolling, aluminium Cutoff, S - GLO |
| sheet rolling, steel | $RSUWeight*SteelFraction$ | kg | market for sheet rolling, steel sheet rolling, steel Cutoff, S - GLO |
| steel, low-alloyed, hot rolled | $RSUWeight*SteelFraction$ | kg | market for steel, low-alloyed, hot rolled steel, low-alloyed, hot rolled Cutoff, S - GLO |
| wafer, fabricated, for integrated circuit | $(1/0.85/1.68)*RSUWeight*ElectronicsFraction*ElectronicsICDieSubfraction$ | m ² | market for wafer, fabricated, for integrated circuit wafer, fabricated, for integrated circuit Cutoff, S - GLO |

Avec les paramètres suivants, tirés de Gawron et al 2018 pour l'OBU et repris ici pour la RSU :

| | | |
|-----------------------------------|-------|--|
| AluminumFraction | 0.48 | Part aluminium |
| CopperFraction | 0.01 | Part cuivre |
| ElectronicsFraction | 0.35 | Part composants électroniques |
| ElectronicsICDieSubfraction | 0.001 | Part du poids des composants électroniques allouée au IC die, pour un "medium board" 0.5kg<X<1kg |
| ElectronicsICPackageSubfraction | 0.033 | Part du poids des composants électroniques allouée au IC package, pour un "medium board" 0.5kg<X<1kg |
| ElectronicsPowerSupplySubfraction | 0.553 | Part du poids des composants électroniques allouée au power supply, pour un "medium board" 0.5kg<X<1kg |
| ElectronicsPWBSubfraction | 0.413 | Part du poids des composants électroniques allouée au PWB, pour un "medium board" 0.5kg<X<1kg |
| PlasticFraction | 0.03 | Part plastiques |
| SteelFraction | 0.13 | Part acier |

RSCamera

(nombre) Contributions liées à la fabrication et fin de vie d'une caméra débarquée, paramétrées par son poids.

Doit inclure :

- Matières premières ->ok, à améliorer (notamment verre). Reprise de la modélisation de la caméra embarquée.
- Processus de fabrication -> ok, à améliorer. Reprise de la modélisation de la caméra embarquée.
- Transport des matières premières jusqu'au site de production puis des composants finis du site de production vers le site d'assemblage -> pas explicitement, cf hypothèses dans les providers.
- Processus de fin de vie -> non modélisé

Limites et précautions :

- Modélisation réalisée à partir des répartitions matières issues de l'article Gawron et al. 2018 pour une caméra embarquée avec les mêmes limites de modélisation (cf processus Camera).

| Flux d'entrée | Quantité | Unité | Provider |
|--|---|----------------|--|
| acrylonitrile-butadiene-styrene copolymer | RSCameraWeight*PlasticFraction /0.994/0.997 | kg | market for acrylonitrile-butadiene-styrene copolymer acrylonitrile-butadiene-styrene copolymer Cutoff, S - GLO |
| blow moulding | RSCameraWeight *PlasticFraction /0.997 | kg | market for blow moulding blow moulding Cutoff, S - GLO |
| flat glass, coated | RSCameraWeight *GlassFraction | kg | market for flat glass, coated flat glass, coated Cutoff, S - RoW |
| injection moulding | RSCameraWeight *PlasticFraction /0.994/0.997 | kg | market for injection moulding injection moulding Cutoff, S - GLO |
| integrated circuit, memory type | RSCameraWeight *ElectronicsFraction *ElectronicsICPackageSubfraction | kg | market for integrated circuit, memory type integrated circuit, memory type Cutoff, S - GLO |
| power supply unit, for desktop computer | (1/1.4434)*RSCameraWeight *ElectronicsFraction *ElectronicsPowerSupplySubfraction | Item (s) | market for power supply unit, for desktop computer power supply unit, for desktop computer Cutoff, S - GLO |
| printed wiring board, through-hole mounted, unspecified, Pb containing | 0.3*RSCameraWeight *ElectronicsFraction *ElectronicsPWBSubfraction | kg | market for printed wiring board, through-hole mounted, unspecified, Pb containing printed wiring board, through-hole mounted, unspecified, Pb containing Cutoff, S - GLO |
| printed wiring board, through-hole mounted, unspecified, Pb free | 0.7* RSCameraWeight *ElectronicsFraction *ElectronicsPWBSubfraction | kg | market for printed wiring board, through-hole mounted, unspecified, Pb free printed wiring board, through-hole mounted, unspecified, Pb free Cutoff, S - GLO |
| wafer, fabricated, for integrated circuit | (1/0.85/1.68)*RSCameraWeight *ElectronicsFraction *ElectronicsICDieSubfraction | m ² | market for wafer, fabricated, for integrated circuit wafer, fabricated, for integrated circuit Cutoff, S - GLO |

Avec les paramètres suivants, tirés de Gawron et al 2018 pour une caméra embarquée et repris ici pour une caméra débarquée :

| | | |
|-----------------------------------|-------|--|
| ElectronicsFraction | 0.46 | Part du poids du capteur alloué aux composants électroniques |
| ElectronicsICDieSubfraction | 0.002 | Part du poids des composants électroniques allouée au IC die, pour un "small board" <0.5kg |
| ElectronicsICPackageSubfraction | 0.02 | Part du poids des composants électroniques allouée au IC package, pour un "small board" <0.5kg |
| ElectronicsPowerSupplySubfraction | 0.2 | Part du poids des composants électroniques allouée au power supply, pour un "small board" <0.5kg |
| ElectronicsPWBSubfraction | 0.778 | Part du poids des composants électroniques allouée au PWB, pour un "small board" <0.5kg |
| GlassFraction | 0.09 | Part du poids du capteur en verre |
| PlasticFraction | 0.45 | Part du poids du capteur en plastiques |

RSLiDAR

(nombre) Contributions liées à la fabrication et fin de vie d'un LiDAR débarqué, paramétrées par son poids.

Doit inclure:

- Matières premières ->ok, à améliorer (notamment terres rares). Reprise de la modélisation d'un « petit » LiDAR embarqué.

- Processus de fabrication -> ok, à améliorer. Reprise de la modélisation d'un « petit » LiDAR embarqué.

- Transport des matières premières jusqu'au site de production puis des composants finis du site de production vers le site d'assemblage -> pas explicitement, cf hypothèses dans les providers.

- Processus de fin de vie -> non encore modélisé

Limites et précautions:

- Modélisation réalisées à partir des répartitions matières issues de l'article Gawron et al. 2018 pour un lidar embarqué. Reprise du modèle de S.Lidar avec des paramètres différents avec les mêmes limites de modélisation (cf. processus « S.Lidar »).

- Attention, les providers utilisés sont globaux, à ajuster pour la modélisation.

| Flux d'entrée | Quantité | Unité | Provider |
|--|---|-----------|--|
| acrylonitrile-butadiene-styrene copolymer | RS LidarWeight *PlasticFraction /0.994/0.997 | kg | market for acrylonitrile-butadiene-styrene copolymer acrylonitrile-butadiene-styrene copolymer Cutoff, S - GLO |
| aluminium, wrought alloy | RS LidarWeight *AluminumFraction | kg | market for aluminium, wrought alloy aluminium, wrought alloy Cutoff, S - GLO |
| blow moulding | RS LidarWeight *PlasticFraction /0.997 | kg | market for blow moulding blow moulding Cutoff, S - GLO |
| cable, ribbon cable, 20-pin, with plugs | RS LidarWeight *CopperFraction | kg | market for cable, ribbon cable, 20-pin, with plugs cable, ribbon cable, 20-pin, with plugs Cutoff, S - GLO |
| cast iron | RS LidarWeight *CastIronFraction | kg | market for cast iron cast iron Cutoff, S - GLO |
| flat glass, coated | RS LidarWeight *GlassFraction | kg | market for flat glass, coated flat glass, coated Cutoff, S - RoW |
| injection moulding | RS LidarWeight *PlasticFraction /0.994/0.997 | kg | market for injection moulding injection moulding Cutoff, S - GLO |
| integrated circuit, memory type | RS LidarWeight *ElectronicsFraction *ElectronicsICPackageSubfraction | kg | market for integrated circuit, memory type integrated circuit, memory type Cutoff, S - GLO |
| metal working, average for aluminium product manufacturing | RS LidarWeight *AluminumFraction | kg | market for metal working, average for aluminium product manufacturing metal working, average for aluminium product manufacturing Cutoff, S - GLO |
| power supply unit, for desktop computer | (1/1.4434)*RS LidarWeight *ElectronicsFraction *ElectronicsPowerSupplySubfraction | Items (s) | market for power supply unit, for desktop computer power supply unit, for desktop computer Cutoff, S - GLO |
| printed wiring board, through-hole mounted, unspecified, Pb containing | 0.3*RS LidarWeight *ElectronicsFraction *ElectronicsPWBSubfraction | kg | market for printed wiring board, through-hole mounted, unspecified, Pb containing printed wiring board, through-hole mounted, unspecified, Pb containing Cutoff, S - GLO |
| printed wiring board, through-hole mounted, unspecified, Pb free | 0.7*RS LidarWeight *ElectronicsFraction *ElectronicsPWBSubfraction | kg | market for printed wiring board, through-hole mounted, unspecified, Pb free printed wiring board, through-hole mounted, unspecified, Pb free Cutoff, S - GLO |

| | | | |
|--|---|--------|--|
| samarium europium gadolinium concentrate, 94% rare earth oxide | RSLidarWeight *RareEarthFraction | kg | market for samarium europium gadolinium concentrate, 94% rare earth oxide samarium europium gadolinium concentrate, 94% rare earth oxide Cutoff, S - GLO |
| sheet rolling, aluminium | RSLidarWeight *AluminumFraction | kg | market for sheet rolling, aluminium sheet rolling, aluminium Cutoff, S - GLO |
| wafer, fabricated, for integrated circuit | (1/0.85/1.68)*RSLidarWeight *ElectronicsFraction *ElectronicsICDieSubfraction | m 2 | market for wafer, fabricated, for integrated circuit wafer, fabricated, for integrated circuit Cutoff, S - GLO |

Avec les paramètres suivants, tirés de Gawron et al 2018 pour un « petit » LiDAR embarqué et repris ici pour un LiDAR débarqué :

| | | |
|-----------------------------------|-----------|--|
| AluminumFraction | 0.6 | Part du poids du capteur en aluminium |
| CastIronFraction | 0.01 | Part du poids du capteur en fonte(?) |
| CopperFraction | 0.01 | Part du poids du capteur en cuivre |
| ElectronicsFraction | 0.12 | Part du poids du capteur alloué aux composants électroniques |
| ElectronicsICDieSubfraction | 0.00 2 | Part du poids des composants électroniques allouée au IC die, pour un "small board" <0.5kg |
| ElectronicsICPackageSubfraction | 0.02 | Part du poids des composants électroniques allouée au IC package, pour un "small board" <0.5kg |
| ElectronicsPowerSupplySubfraction | 0.20 2 | Part du poids des composants électroniques allouée au power supply, pour un "small board" <0.5kg |
| ElectronicsPWBSubfraction | 0.77 8 | Part du poids des composants électroniques allouée au PWB, pour un "small board" <0.5kg |
| GlassFraction | 0.08 | Part du poids du capteur en verre |
| PlasticFraction | 0.17 | Part du poids du capteur en plastiques |
| RareEarthFraction | 0.01 | Part du poids du capteur en terres rares |

RSCalculator

(nombre) Contributions liées à la fabrication et fin de vie d'un calculateur débarqué, associé à un capteur (caméra ou LiDAR) débarqué ou représentant un contrôleur de carrefour et permettant de traiter les données brutes issues de ces capteurs, paramétrées par son poids.

Doit inclure :

- Matières premières ->ok, à améliorer (notamment terres rares). Reprise des mêmes hypothèses matières et procédés que pour le calculateur embarqué du véhicule. Issus de l'article Gawron et la. 2018.
- Processus de fabrication -> ok, à améliorer. Reprise de la modélisation du calculateur embarqué.
- Transport des matières premières jusqu'au site de production puis des composants finis du site de production vers le site d'assemblage -> pas explicitement, cf hypothèses dans les providers.
- Processus de fin de vie -> non encore modélisé

Avec les mêmes limites de modélisation que celles de la modélisation du calculateur embarqué (cf processus « Computer »).

| | | | |
|---------------|----------|-------|----------|
| Flux d'entrée | Quantité | Unité | Provider |
|---------------|----------|-------|----------|

| | | | |
|--|---|----------------|--|
| acrylonitrile-butadiene-styrene copolymer | $RSCalculatorWeight * PlasticFraction / 0.994 / 0.997$ | kg | market for acrylonitrile-butadiene-styrene copolymer acrylonitrile-butadiene-styrene copolymer Cutoff, S - GLO |
| aluminium, wrought alloy | $RSCalculatorWeight * AluminiumFraction$ | kg | market for aluminium, wrought alloy aluminium, wrought alloy Cutoff, S - GLO |
| blow moulding | $RSCalculatorWeight * PlasticFraction / 0.997$ | kg | market for blow moulding blow moulding Cutoff, S - GLO |
| cable, ribbon cable, 20-pin, with plugs | $RSCalculatorWeight * CopperFraction$ | kg | market for cable, ribbon cable, 20-pin, with plugs cable, ribbon cable, 20-pin, with plugs Cutoff, S - GLO |
| cast iron | $RSCalculatorWeight * CastIronFraction$ | kg | market for cast iron cast iron Cutoff, S - GLO |
| injection moulding | $RSCalculatorWeight * PlasticFraction / 0.994 / 0.997$ | kg | market for injection moulding injection moulding Cutoff, S - GLO |
| integrated circuit, memory type | $RSCalculatorWeight * ElectronicsFraction * ElectronicsICPackageSubfraction$ | kg | market for integrated circuit, memory type integrated circuit, memory type Cutoff, S - GLO |
| metal working, average for aluminium product manufacturing | $RSCalculatorWeight * AluminiumFraction$ | kg | market for metal working, average for aluminium product manufacturing metal working, average for aluminium product manufacturing Cutoff, S - GLO |
| power supply unit, for desktop computer | $(1/1.4434) * RSCalculatorWeight * ElectronicsFraction * ElectronicsPowerSupplySubfraction$ | Item (s) | market for power supply unit, for desktop computer power supply unit, for desktop computer Cutoff, S - GLO |
| printed wiring board, through-hole mounted, unspecified, Pb containing | $0.3 * RSCalculatorWeight * ElectronicsFraction * ElectronicsPWBSubfraction$ | kg | market for printed wiring board, through-hole mounted, unspecified, Pb containing printed wiring board, through-hole mounted, unspecified, Pb containing Cutoff, S - GLO |
| printed wiring board, through-hole mounted, unspecified, Pb free | $0.7 * RSCalculatorWeight * ElectronicsFraction * ElectronicsPWBSubfraction$ | kg | market for printed wiring board, through-hole mounted, unspecified, Pb free printed wiring board, through-hole mounted, unspecified, Pb free Cutoff, S - GLO |
| samarium europium gadolinium concentrate, 94% rare earth oxide | $RSCalculatorWeight * RareEarthFraction$ | kg | market for samarium europium gadolinium concentrate, 94% rare earth oxide samarium europium gadolinium concentrate, 94% rare earth oxide Cutoff, S - GLO |
| sheet rolling, aluminium | $RSCalculatorWeight * AluminiumFraction$ | kg | market for sheet rolling, aluminium sheet rolling, aluminium Cutoff, S - GLO |
| wafer, fabricated, for integrated circuit | $(1/0.85/1.68) * RSCalculatorWeight * ElectronicsFraction * ElectronicsICDieSubfraction$ | m ² | market for wafer, fabricated, for integrated circuit wafer, fabricated, for integrated circuit Cutoff, S - GLO |

Avec les paramètres suivants, tirés de Gawron et al 2018 pour le calculateur embarqué et repris ici pour un calculateur débarqué :

| | | |
|-----------------------------------|-------|--|
| AluminiumFraction | 0.7 | Part aluminium |
| CastIronFraction | 0.02 | Part fonte? |
| CopperFraction | 0.06 | Part cuivre |
| ElectronicsFraction | 0.16 | Part composants électroniques |
| ElectronicsICDieSubfraction | 0.001 | Part du poids des composants électroniques allouée au IC die, pour un "medium board" 0.5kg<X<1kg |
| ElectronicsICPackageSubfraction | 0.033 | Part du poids des composants électroniques allouée au IC package, pour un "medium board" 0.5kg<X<1kg |
| ElectronicsPowerSupplySubfraction | 0.553 | Part du poids des composants électroniques allouée au power supply, pour un "medium board" 0.5kg<X<1kg |
| ElectronicsPWBSubfraction | 0.413 | Part du poids des composants électroniques allouée au PWB, pour un "medium board" 0.5kg<X<1kg |
| PlasticFraction | 0.04 | Part plastiques |

| | | |
|-------------------|----------|-------------------|
| RareEarthFraction | 0.0 2 | Part Terres Rares |
|-------------------|----------|-------------------|

CentralCalculator

(nombre) Contributions liées à la fabrication et fin de vie d'un calculateur centralisé dédié au traitement par IA des données issues des capteurs de perception débarquée, paramétrées par son poids.

Doit inclure:

- Matières premières ->ok, à améliorer (notamment terres rares). Reprise des mêmes hypothèses matières et procédés que pour le calculateur embarqué du véhicule. Issus de l'article Gawron et la. 2018.
- Processus de fabrication -> ok, à améliorer. Reprise de la modélisation du calculateur embarqué.
- Transport des matières premières jusqu'au site de production puis des composants finis du site de production vers le site d'assemblage -> pas explicitement, cf hypothèses dans les providers.
- Processus de fin de vie -> non encore modélisé

Avec les mêmes limites de modélisation que celles de la modélisation du calculateur embarqué (cf processus « Computer »).

| Flux d'entrée | Quantité | Unité | Provider |
|--|---|----------|--|
| acrylonitrile-butadiene-styrene copolymer | $\text{CentrCalcWeight} * \text{PlasticFraction} / 0.994 / 0.997$ | kg | market for acrylonitrile-butadiene-styrene copolymer acrylonitrile-butadiene-styrene copolymer Cutoff, S - GLO |
| aluminium, wrought alloy | $\text{CentrCalcWeight} * \text{AluminiumFraction}$ | kg | market for aluminium, wrought alloy aluminium, wrought alloy Cutoff, S - GLO |
| blow moulding | $\text{CentrCalcWeight} * \text{PlasticFraction} / 0.997$ | kg | market for blow moulding blow moulding Cutoff, S - GLO |
| cable, ribbon cable, 20-pin, with plugs | $\text{CentrCalcWeight} * \text{CopperFraction}$ | kg | market for cable, ribbon cable, 20-pin, with plugs cable, ribbon cable, 20-pin, with plugs Cutoff, S - GLO |
| cast iron | $\text{CentrCalcWeight} * \text{CastIronFraction}$ | kg | market for cast iron cast iron Cutoff, S - GLO |
| injection moulding | $\text{CentrCalcWeight} * \text{PlasticFraction} / 0.994 / 0.997$ | kg | market for injection moulding injection moulding Cutoff, S - GLO |
| integrated circuit, memory type | $\text{CentrCalcWeight} * \text{ElectronicsFraction} * \text{ElectronicsICPackageSubfraction}$ | kg | market for integrated circuit, memory type integrated circuit, memory type Cutoff, S - GLO |
| metal working, average for aluminium product manufacturing | $\text{CentrCalcWeight} * \text{AluminiumFraction}$ | kg | market for metal working, average for aluminium product manufacturing metal working, average for aluminium product manufacturing Cutoff, S - GLO |
| power supply unit, for desktop computer | $(1/1.4434) * \text{CentrCalcWeight} * \text{ElectronicsFraction} * \text{ElectronicsPowerSupplySubfraction}$ | Item (s) | market for power supply unit, for desktop computer power supply unit, for desktop computer Cutoff, S - GLO |
| printed wiring board, through-hole mounted, unspecified, Pb containing | $0.3 * \text{CentrCalcWeight} * \text{ElectronicsFraction} * \text{ElectronicsPWBSubfraction}$ | kg | market for printed wiring board, through-hole mounted, unspecified, Pb containing printed wiring board, through-hole mounted, unspecified, Pb containing Cutoff, S - GLO |
| printed wiring board, through-hole mounted, unspecified, Pb free | $0.7 * \text{CentrCalcWeight} * \text{ElectronicsFraction} * \text{ElectronicsPWBSubfraction}$ | kg | market for printed wiring board, through-hole mounted, unspecified, Pb free printed wiring board, through-hole mounted, unspecified, Pb free Cutoff, S - GLO |

| | | | |
|--|---|--------|--|
| samarium europium gadolinium concentrate, 94% rare earth oxide | CentrCalcWeight*RareEarth Fraction | kg | market for samarium europium gadolinium concentrate, 94% rare earth oxide samarium europium gadolinium concentrate, 94% rare earth oxide Cutoff, S - GLO |
| sheet rolling, aluminium | CentrCalcWeight*AluminiumFraction | kg | market for sheet rolling, aluminium sheet rolling, aluminium Cutoff, S - GLO |
| wafer, fabricated, for integrated circuit | (1/0.85/1.68)*CentrCalcWeight*ElectronicsFraction*ElectronicsICDieSubfraction | m 2 | market for wafer, fabricated, for integrated circuit wafer, fabricated, for integrated circuit Cutoff, S - GLO |

Avec les paramètres suivants, tirés de Gawron et al 2018 pour le calculateur embarqué et repris ici pour un calculateur centralisé :

| | | |
|-----------------------------------|-----------|--|
| AluminumFraction | 0.7 | Part aluminium |
| CastIronFraction | 0.0 2 | Part fonte? |
| CopperFraction | 0.0 6 | Part cuivre |
| ElectronicsFraction | 0.1 6 | Part composants électroniques |
| ElectronicsICDieSubfraction | 0.0 01 | Part du poids des composants électroniques allouée au IC die, pour un "medium board" 0.5kg<X<1kg |
| ElectronicsICPackageSubfraction | 0.0 33 | Part du poids des composants électroniques allouée au IC package, pour un "medium board" 0.5kg<X<1kg |
| ElectronicsPowerSupplySubfraction | 0.5 53 | Part du poids des composants électroniques allouée au power supply, pour un "medium board" 0.5kg<X<1kg |
| ElectronicsPWBSubfraction | 0.4 13 | Part du poids des composants électroniques allouée au PWB, pour un "medium board" 0.5kg<X<1kg |
| PlasticFraction | 0.0 4 | Part plastiques |
| RareEarthFraction | 0.0 2 | Part Terres Rares |

CentralAgregator

(nombre) Contributions liées à la fabrication et fin de vie d'un serveur centralisé dédié à l'agrégation des données issues du traitement des données de la perception débarquée et à la préparation des messages envoyés ou diffusés aux véhicules autonomes ou connectés, paramétrées par son poids.

Doit inclure:

- Matières premières ->ok, à améliorer (notamment terres rares). Reprise des mêmes hypothèses matières et procédés que pour le calculateur embarqué du véhicule. Issus de l'article Gawron et la. 2018.
- Processus de fabrication -> ok, à améliorer. Reprise de la modélisation du calculateur embarqué.
- Transport des matières premières jusqu'au site de production puis des composants finis du site de production vers le site d'assemblage -> pas explicitement, cf hypothèses dans les providers.
- Processus de fin de vie -> non encore modélisé

Avec les mêmes limites de modélisation que celles de la modélisation du calculateur embarqué (cf processus « Computer »).

| | | | |
|---------------|----------|-------|----------|
| Flux d'entrée | Quantité | Unité | Provider |
|---------------|----------|-------|----------|

| | | | |
|--|---|----------------|--|
| acrylonitrile-butadiene-styrene copolymer | CentrAgregWeight *PlasticFraction/0.994/0.997 | kg | market for acrylonitrile-butadiene-styrene copolymer acrylonitrile-butadiene-styrene copolymer Cutoff, S - GLO |
| aluminium, wrought alloy | CentrAgregWeight *AluminumFraction | kg | market for aluminium, wrought alloy aluminium, wrought alloy Cutoff, S - GLO |
| blow moulding | CentrAgregWeight*PlasticFraction/0.997 | kg | market for blow moulding blow moulding Cutoff, S - GLO |
| cable, ribbon cable, 20-pin, with plugs | CentrAgregWeight *CopperFraction | kg | market for cable, ribbon cable, 20-pin, with plugs cable, ribbon cable, 20-pin, with plugs Cutoff, S - GLO |
| cast iron | CentrAgregWeight *CastIronFraction | kg | market for cast iron cast iron Cutoff, S - GLO |
| injection moulding | CentrAgregWeight *PlasticFraction/0.994/0.997 | kg | market for injection moulding injection moulding Cutoff, S - GLO |
| integrated circuit, memory type | CentrAgregWeight *ElectronicsFraction*ElectronicsICPackageSubfraction | kg | market for integrated circuit, memory type integrated circuit, memory type Cutoff, S - GLO |
| metal working, average for aluminium product manufacturing | CentrAgregWeight *AluminumFraction | kg | market for metal working, average for aluminium product manufacturing metal working, average for aluminium product manufacturing Cutoff, S - GLO |
| power supply unit, for desktop computer | (1/1.4434)*CentrAgregWeight *ElectronicsFraction*ElectronicsPowerSupplySubfraction | item (s) | market for power supply unit, for desktop computer power supply unit, for desktop computer Cutoff, S - GLO |
| printed wiring board, through-hole mounted, unspecified, Pb containing | 0.3*CentrAgregWeight *ElectronicsFraction *ElectronicsPWBSubfraction | kg | market for printed wiring board, through-hole mounted, unspecified, Pb containing printed wiring board, through-hole mounted, unspecified, Pb containing Cutoff, S - GLO |
| printed wiring board, through-hole mounted, unspecified, Pb free | 0.7*CentrAgregWeight *ElectronicsFraction*ElectronicsPWBSubfraction | kg | market for printed wiring board, through-hole mounted, unspecified, Pb free printed wiring board, through-hole mounted, unspecified, Pb free Cutoff, S - GLO |
| samarium europium gadolinium concentrate, 94% rare earth oxide | CentrAgregWeight *RareEarthFraction | kg | market for samarium europium gadolinium concentrate, 94% rare earth oxide samarium europium gadolinium concentrate, 94% rare earth oxide Cutoff, S - GLO |
| sheet rolling, aluminium | CentrAgregWeight *AluminumFraction | kg | market for sheet rolling, aluminium sheet rolling, aluminium Cutoff, S - GLO |
| wafer, fabricated, for integrated circuit | (1/0.85/1.68)*CentrAgregWeight *ElectronicsFraction*ElectronicsICDieSubfraction | m ² | market for wafer, fabricated, for integrated circuit wafer, fabricated, for integrated circuit Cutoff, S - GLO |

Avec les paramètres suivants, tirés de Gawron et al 2018 pour le calculateur embarqué et repris ici pour un calculateur centralisé :

| | | |
|-----------------------------------|--------|--|
| AluminumFraction | 0.7 | Part aluminium |
| CastIronFraction | 0.02 | Part fonte? |
| CopperFraction | 0.06 | Part cuivre |
| ElectronicsFraction | 0.16 | Part composants électroniques |
| ElectronicsICDieSubfraction | 0.001 | Part du poids des composants électroniques allouée au IC die, pour un "medium board" 0.5kg<X<1kg |
| ElectronicsICPackageSubfraction | 0.033 | Part du poids des composants électroniques allouée au IC package, pour un "medium board" 0.5kg<X<1kg |
| ElectronicsPowerSupplySubfraction | 0.053 | Part du poids des composants électroniques allouée au power supply, pour un "medium board" 0.5kg<X<1kg |
| ElectronicsPWBSubfraction | 0.0413 | Part du poids des composants électroniques allouée au PWB, pour un "medium board" 0.5kg<X<1kg |

| | | |
|-------------------|------|-------------------|
| PlasticFraction | 0.04 | Part plastiques |
| RareEarthFraction | 0.02 | Part Terres Rares |

4.4.3.1.2 Vie en œuvre

RSU-use

(heure) Contributions liées à l'utilisation d'une unité de communication de courte portée embarquée pendant une heure, paramétrées par sa puissance électrique.

Doit inclure:

- Consommation d'énergie ->ok

Limites et précautions :

- Attention, provider utilisé pour l'électricité est global, à ajuster pour la modélisation.

| Flux d'entrée | Quantité | Unit é | Provider |
|--------------------------|---------------|--------|--|
| electricity, low voltage | RSUPower/1000 | kWh | market group for electricity, low voltage electricity, low voltage Cutoff, S - GLO |

RSCamera-use

(heure) Contributions liées à l'utilisation d'une caméra débarquée pendant une heure, paramétrées par sa puissance électrique.

Doit inclure :

- Consommation d'énergie -> ok

Limites et précautions :

- Attention, provider utilisé pour l'électricité est global, à ajuster pour la modélisation.

| Flux d'entrée | Quantité | Unit é | Provider |
|--------------------------|--------------------|--------|--|
| electricity, low voltage | RSCameraPower/1000 | kWh | market group for electricity, low voltage electricity, low voltage Cutoff, S - GLO |

RSLiDAR-use

(heure) Contributions liées à l'utilisation d'un LiDAR débarqué pendant une heure, paramétrées par sa puissance électrique.

Doit inclure :

- Consommation d'énergie -> ok

Limites et précautions :

- Attention, provider utilisé pour l'électricité est global, à ajuster pour la modélisation.

| Flux d'entrée | Quantité | Unit é | Provider |
|---------------|----------|--------|----------|
|---------------|----------|--------|----------|

| | | | |
|--------------------------|-------------------|-----|--|
| electricity, low voltage | RSLidarPower/1000 | kWh | market group for electricity, low voltage electricity, low voltage Cutoff, S - GLO |
|--------------------------|-------------------|-----|--|

RSCalculator-use

(heure) Contributions liées à l'utilisation d'un calculateur associé aux capteurs de perception débarquée pendant une heure, paramétrées par sa puissance électrique.

Doit inclure :

- Consommation d'énergie -> ok

Limites et précautions :

- Attention, provider utilisé pour l'électricité est global, à ajuster pour la modélisation.

| Flux d'entrée | Quantité | Unit é | Provider |
|--------------------------|------------------------|--------|--|
| electricity, low voltage | RSCalculatorPower/1000 | kWh | market group for electricity, low voltage electricity, low voltage Cutoff, S - GLO |

CentralCalculator-use

(heure) Contributions liées à l'utilisation du calculateur centralisé permettant le traitement des données issues des équipements de perception débarquée pendant une heure, paramétrées par sa puissance électrique.

Doit inclure :

- Consommation d'énergie -> ok

Limites et précautions :

- Attention, provider utilisé pour l'électricité est global, à ajuster pour la modélisation. En particulier il s'agit de vérifier la localisation du data centre dans lequel est installé ce calculateur ainsi que sa technologie (ayant des efficacités énergétiques différentes) et si le data centre est alimenté par le réseau national ou dispose de sa propre capacité de production d'électricité avec un mix différent.

| Flux d'entrée | Quantité | Unit é | Provider |
|--------------------------|---------------------|--------|--|
| electricity, low voltage | CentrCalcPower/1000 | kWh | market group for electricity, low voltage electricity, low voltage Cutoff, S - GLO |

CentralAgregator-use

(heure) Contributions liées à l'utilisation pendant un heure du serveur centralisé permettant l'agrégation des données issues du traitement des données de perception débarquée et la préparation des messages avant envoi ou diffusion aux véhicules autonomes ou connectés, paramétrées par sa puissance électrique.

Doit inclure :

- Consommation d'énergie -> ok

Limites et précautions :

- Attention, provider utilisé pour l'électricité est global, à ajuster pour la modélisation. En particulier il s'agit de vérifier la localisation du data centre dans lequel est installé ce serveur ainsi que sa technologie (ayant des efficacités énergétiques différentes) et si le data centre est alimenté par le réseau national ou dispose de sa propre capacité de production d'électricité avec un mix différent.

| Flux d'entrée | Quantité | Unit é | Provider |
|--------------------------|----------------------|--------|--|
| electricity, low voltage | CentrAgregPower/1000 | kWh | market group for electricity, low voltage electricity, low voltage Cutoff, S - GLO |

Data-Cellular

(Go) Contributions liées à la consommation moyenne d'électricité par les antennes relais attribuable (au prorata de la quantité de données transmises) à la transmission d'un Go de données (8E+9 bit).

Limites et précautions :

- Attention, provider utilisé pour l'électricité est global, à ajuster pour la modélisation.

| Flux d'entrée | Quantité | Unit é | Provider |
|--------------------------|--------------------|--------|--|
| electricity, low voltage | EnergyDataCellular | kWh | market group for electricity, low voltage electricity, low voltage Cutoff, S - GLO |

Data-Network

(Go) Contributions liées à la consommation moyenne d'électricité par le réseau filaire attribuable (au prorata de la quantité de données transmises) à la transmission d'un Go de données (8E+9 bit).

Limites et précautions :

- Attention, provider utilisé pour l'électricité est global, à ajuster pour la modélisation.

| Flux d'entrée | Quantité | Unit é | Provider |
|--------------------------|-------------------|--------|--|
| electricity, low voltage | EnergyDataNetwork | kWh | market group for electricity, low voltage electricity, low voltage Cutoff, S - GLO |

Data-Data Centre

(Go) Contributions liées à la consommation moyenne d'électricité par un data centre attribuable (au prorata de la quantité de données traitées) à l'hébergement d'un Go de données (8E+9 bit).

Limites et précautions :

- Attention, provider utilisé pour l'électricité est global, à ajuster pour la modélisation. En particulier il s'agit de vérifier la localisation du data centre dans lequel est installé ce calculateur et si le data centre est alimenté par le réseau national ou dispose de sa propre capacité de production d'électricité avec un mix différent.

| Flux d'entrée | Quantité | Unit é | Provider |
|--------------------------|----------------------|--------|--|
| electricity, low voltage | EnergyDataDataCentre | kWh | market group for electricity, low voltage electricity, low voltage Cutoff, S - GLO |

4.4.3.2 Architecture

4.4.3.2.1 Production et fin de vie

Route-Prod et fin de vie

(veh.km) Contributions liées aux phases de fabrication et de renouvellement de la route et de la signalisation routière horizontale et verticale, attribuables, compte tenu du trafic sur cette infrastructure, à un veh.km.

Inclure :

- La phase de fabrication et renouvellement de la chaussée ->ok, cf limites sur la mutualisation
- La phase de fabrication et de renouvellement de la signalisation routière -> non modélisé explicitement, voir provider
- La phase de fabrication et de renouvellement ou fin de vie des places de stationnement -> non modélisé

Limites et précautions :

La mutualisation pour attribution à un veh.km : les hypothèses de mutualisation sont tirées des recommandations formulées dans la base de données ecoinvent 3.6 (explicitées dans le processus « road construction | road | Cutoff, U – CH ») et non explicitement à partir du trafic spécifique dans le cas d'usage. L'hypothèse sous-jacente est celle de la circulation en trafic mixte et non de voies dédiées.

| Flux d'entrée | Quantité | Unité | Provider |
|---------------|---|-------|--|
| road | $5.37E-4 * (\text{PoidsVehSsBat} + \text{NbCamera} * \text{CameraWeight} + \text{NbComputer} * \text{ComputerWeight} + \text{NbGNSS} * \text{GNSSWeight} + \text{NbHarness} * \text{HarnessWeight} + \text{NbLLiDAR} * \text{LlidaWeight} + \text{NbOBU} * \text{OBUWeight} + \text{NbRadar} * \text{RadarWeight} + \text{NbSLiDAR} * \text{SLidaWeight} + \text{NbSonar} * \text{SonarWeight} + \text{PoidsBat}) / 1000$ | m*a | market for road road Cutoff, S - GLO |

Service-Prod et fin de vie

(veh.km) Contributions liées aux phases de fabrication et de fin de vie de l'ensemble des équipements de l'infrastructure liées au service (arrêts, dépôts, sites de remisage etc...), incluant leur remplacement, attribuables, compte tenu du trafic des véhicules du service sur cette infrastructure, à un veh.km.

Inclure :

- La phase de fabrication et de déploiement et fin de vie des arrêts -> non modélisé (exclu du périmètre d'ACV des systèmes techniques, à inclure dans l'ACV service)
- La phase de fabrication et de déploiement et fin de vie des dépôts, aires d'attente, sites de remisage, ateliers de maintenance -> non modélisé (exclu du périmètre d'ACV des systèmes techniques, à inclure dans l'ACV service)
- La phase de fabrication et de déploiement et fin de vie des bornes de recharge électriques, stations services, garages -> non modélisé (hypothèse d'une mutualisation très importante d'une part et d'une utilisation équivalente pour l'ensemble des modes de l'écosystème de mobilité du territoire d'autre part)

Limites et hypothèses :

Les éléments de ce système n'ont pas été modélisés dans le périmètre d'ACV des systèmes techniques mais devront être inclus pour l'ACV service. Il peut y avoir plusieurs degrés de mutualisation :

- les équipements sont mutualisés uniquement par les véhicules du service (on divise par le débit annuel du service total (incluant toute la flotte))
- les équipements liés au service sont mutualisés avec d'autres services de mobilité (on divise par le débit annuel total de ces deux services)
- les équipements sont publics.

| Flux d'entrée | Quantité | Unité | Provider |
|--|----------|-------|----------|
| Flux de sortie (si hors flux de référence) | | | |
| | | | |

Autoroute-Geopositionnement-Prod et fin de vie

Urbain-Geopositionnement-Prod et fin de vie

Rural-Geopositionnement-Prod et fin de vie

(veh.km) Contributions liées aux phases de fabrication et de fin de vie de l'ensemble des composants du système de géopositionnement déployé respectivement :

- sur autoroutes
- en contexte urbain
- en contexte rural ou périurbain

Incluant leur remplacement et attribuables, compte tenu de la part du trafic utilisant ces équipements d'infrastructure, à un veh.km.

Inclure :

- La phase de fabrication, de déploiement et de fin de vie de l'ensemble des relais GNSS dont sera équipé l'infrastructure empruntée par le véhicule autonome ->non modélisé (hypothèse de densité d'équipement très faible en général)

Limites et hypothèses :

La phase de fabrication et de fin de vie couvre l'ensemble des composants nécessaires sur un km d'infrastructure, représentatif en moyenne du territoire dans lequel devra évoluer le véhicule pendant sa durée de vie, pour une année de fonctionnement. Cette production sera représentée par la densité linéaire moyenne d'équipements ramenée à une année via la durée de vie.

Pour l'attribution au veh.km, on vient diviser la provision d'équipements pour une année de fonctionnement et un km d'infrastructure par le débit de trafic routier annuel de cette infrastructure (dans les deux sens). On fera l'hypothèse que les équipements de géopositionnement (relais GNSS) seront utilisés par l'ensemble des véhicules routiers et non seulement par les véhicules connectés.

Autoroute-Geopositionnement-Prod et fin de vie

| Flux d'entrée | Quantité | Unité | Provider |
|---------------|----------|-------|----------|
| | | | |

| | | | |
|--|--|--|--|
| Flux de sortie (si hors flux de référence) | | | |
| | | | |

Urbain-Geopositionnement-Prod et fin de vie

| | | | |
|--|----------|-------|----------|
| Flux d'entrée | Quantité | Unité | Provider |
| | | | |
| Flux de sortie (si hors flux de référence) | | | |
| | | | |

Rural-Geopositionnement-Prod et fin de vie

| | | | |
|--|----------|-------|----------|
| Flux d'entrée | Quantité | Unité | Provider |
| | | | |
| Flux de sortie (si hors flux de référence) | | | |
| | | | |

Stationnement-Geopositionnement-Prod et fin de vie

(opération de stationnement) Contributions liées aux phases de fabrication et de fin de vie de l'ensemble des composants du système de géopositionnement déployé dans un parc de stationnement équipé pour l'automatisation du stationnement, Incluant leur remplacement et attribuables, compte tenu de la part des véhicules utilisant ces équipements du parc de stationnement, à une opération de stationnement effectuée.

Inclure :

- La phase de fabrication, de déploiement et de fin de vie de l'ensemble des relais GNSS dont seront équipés les places de stationnement utilisées par le véhicule autonome -> non modélisé pour l'instant ce cas d'usage n'ayant pas encore été traité

Limites et hypothèses :

La production couvre l'ensemble des composants nécessaires pour une année de fonctionnement du parc de stationnement équipé. Cette production sera représentée par la densité moyenne par place de stationnement équipée ramenée à une année via la durée de vie.

Pour l'attribution à l'opération de stationnement, on vient diviser la provision d'équipements pour une année de fonctionnement et une place de stationnement au sein d'un parking équipé par le débit de stationnement annuel de cette place. On fera l'hypothèse que les équipements de géopositionnement (relais GNSS) seront utilisés par l'ensemble des véhicules routiers et non seulement par les véhicules connectés.

| | | | |
|--|----------|-------|----------|
| Flux d'entrée | Quantité | Unité | Provider |
| | | | |
| Flux de sortie (si hors flux de référence) | | | |
| | | | |

Autoroute-Perception débarquée-Prod et fin de vie

Urbain-Perception débarquée-Prod et fin de vie

Rural-Perception débarquée-Prod et fin de vie

(veh.km) Contributions liées aux phases de fabrication et de fin de vie de l'ensemble des composants du système de perception débarquée déployé respectivement :

- sur autoroutes
- en contexte urbain
- en contexte rural ou périurbain

Incluant leur remplacement et attribuables, compte tenu de la part du trafic utilisant ces équipements d'infrastructure, à un veh.km.

Inclure :

- La phase de fabrication, déploiement et fin de vie des barrières connectées -> non modélisé
- La phase de fabrication, déploiement et fin de vie des feux connectés -> les feux tricolores ne sont pas explicitement modélisés (leurs UBRs éventuels sont dans le système de Telecom, les contrôleurs de carrefours sont dans Traitement données)
- La phase de fabrication, déploiement et fin de vie des caméras de bord de route ->ok, cf limites de modélisation au niveau du composant RSCamera
- La phase de fabrication, déploiement et fin de vie des caméras thermiques -> non modélisé
- La phase de fabrication, déploiement et fin de vie des LiDARs débarqués -> ok, cf limites de modélisation au niveau du composant RSLiDAR
- La phase de fabrication, déploiement et fin de vie des Radars -> non modélisé
- La phase de fabrication, déploiement et fin de vie des capteurs météo, boucles de comptage trafic -> non modélisé

Limites et hypothèses :

La production couvre l'ensemble des composants nécessaires sur un km d'infrastructure, représentatif en moyenne du territoire dans lequel devra évoluer le véhicule pendant sa durée de vie, pour une année de fonctionnement. Cette production sera représentée par la densité linéaire moyenne d'équipements ramenée à une année via la durée de vie. Pour l'attribution on divise ces impacts par le flux annuel de véhicules utilisant ces équipements.

Différents degrés de mutualisation des équipements sont pris pour hypothèse :

- Barrières - partagés par tous les usagers traversant la barrière
- Feux tricolores – partagés par tous les usagers de la route
- Caméras visibles et LiDARs : l'hypothèse de mutualisation du scénario est précisée par le paramètre RSCameraMut et RSLiDARMut - lorsqu'ils sont mutualisés (paramètre à 1) - on considère qu'ils le sont pour tous les véhicules (type camera de surveillance ou Lidar de détection d'UVR pour tout le trafic); lorsqu'ils sont dédiés (paramètre à 0) - on considère qu'ils sont utilisés par le sous-ensemble de véhicules connectés dans les contextes autoroutier et dédiés au service autonome dans les contextes urbain et rural, c'est-à-dire qu'ils ne sont pas utilisés par les autres véhicules connectés.

Autoroute-Perception débarquée-Prod et fin de vie

| Flux d'entrée | Quantité | Unité | Provider |
|---------------|---|---------|----------|
| RSCamera | DensLinRSCameraAutoroute /LSRSCamera/((MHTAutoroute*(1-PartVehConnectes)*RSCameraMut +MHTAutoroute *PartVehConnectes +MHTServiceAutoroute)*24*365) | Item(s) | RSCamera |
| RSLiDAR | DensLinRSLiDARAutoroute /LSRSLidar/((MHTAutoroute*(1-PartVehConnectes)*RSLiDARMut +MHTAutoroute *PartVehConnectes +MHTServiceAutoroute)*24*365) | Item(s) | RSLiDAR |

Urbain-Perception débarquée-Prod et fin de vie

| Flux d'entrée | Quantité | Unité | Provider |
|---------------|---|---------|----------|
| RSCamera | DensLinRSCameraUrb /LSRSCamera/((MHTUrb*RSCameraMut+MHTServiceUrb)*24*365) | Item(s) | RSCamera |
| RSLiDAR | DensLinRSLiDARUrb/LSRSLidar/((MHTUrb*RSLiDARMut +MHTServiceUrb)*24*365) | Item(s) | RSLiDAR |

Rural-Perception débarquée-Prod et fin de vie

| Flux d'entrée | Quantité | Unité | Provider |
|---------------|--|---------|----------|
| RSCamera | DensLinRSCameraRural /LSRSCamera/((MHTUrb*RSCameraMut +MHTServiceRural)*24*365) | Item(s) | RSCamera |
| RSLiDAR | DensLinRSLiDARRural /LSRSLidar/((MHTUrb*RSLiDARMut +MHTServiceRural)*24*365) | Item(s) | RSLiDAR |

Stationnement-Perception débarquée-Prod et fin de vie

(opération de stationnement) Contributions liées aux phases de fabrication et de fin de vie de l'ensemble des composants du système de perception débarquée déployé dans un parc de stationnement équipé pour l'automatisation des opérations de stationnement, incluant leur remplacement et attribuables, compte tenu de la part des véhicules utilisant ces équipements, à une opération de stationnement effectuée.

Inclure :

- La phase de fabrication, déploiement et fin de vie des barrières connectés -> non modélisé
- La phase de fabrication, déploiement et fin de vie des feux connectés -> les feux tricolores ne sont pas explicitement modélisés (leurs UBRs éventuels sont dans le système de Telecom, les contrôleurs locaux sont dans Traitement données)
- La phase de fabrication, déploiement et fin de vie des caméras débarquée-> ok, cf limites de modélisation au niveau du composant RSCamera
- La phase de fabrication, déploiement et fin de vie des caméras thermiques -> non modélisé
- La phase de fabrication, déploiement et fin de vie des LiDARs -> ok, cf limites de modélisation au niveau du composant RSLiDAR
- La phase de fabrication, déploiement et fin de vie des Radars -> non modélisé

Limites et hypothèses :

La production couvre l'ensemble des composants nécessaires pour une année de fonctionnement sur les places de stationnement équipées qu'empreintera le véhicule pendant sa durée de vie. Cette production sera représentée par la densité moyenne d'équipements par place de stationnement dans un parking équipé ramenée à une année via la durée de vie. Pour l'attribution on divise ces impacts par le flux annuel de véhicules utilisant ces équipements.

Différents degrés de mutualisation des équipements sont pris pour hypothèse :

- Feux et barrières - partagés par tous les usagers du parking équipé
- Caméras visibles et LiDARs : l'hypothèse de mutualisation du scénario est précisée par le paramètre RSCameraMut et RSLiDARMut - lorsqu'ils sont mutualisés (paramètre à 1) - on considère qu'ils le sont pour tous les véhicules (type camera de surveillance ou Lidar de détection d'UVR pour tout le trafic); lorsqu'ils sont dédiés (paramètre à 0) - on considère qu'ils sont utilisés par le sous-ensemble de véhicules connectés.

| Flux d'entrée | Quantité | Unité | Provider |
|---------------|--|-----------------|--------------|
| RSCamera | $DensRSCameraPark / LSRSCamera / ((MHTStationnement * (1 - PartVehConnectes) * RSCameraMut + MHTStationnement * PartVehConnectes + MHTServiceStationnement) * 24 * 365)$ | Ite m(s) | RSCa mera |
| RSLiDAR | $DensRSLiDARPark / LSRSLidar / ((MHTStationnement * (1 - PartVehConnectes) * RSLiDARMut + MHTStationnement * PartVehConnectes + MHTServiceStationnement) * 24 * 365)$ | Ite m(s) | RSLiD AR |

Autoroute-Traitement données-Prod et fin de vie

Urbain-Traitement données-Prod et fin de vie

Rural-Traitement données-Prod et fin de vie

(veh.km) Contributions liées aux phases de fabrication et de fin de vie de l'ensemble des composants du système de traitement des données issues des capteurs de perception débarquée déployé respectivement :

- sur autoroutes
- en contexte urbain
- en contexte rural ou périurbain

Incluant leur remplacement et attribuables, compte tenu de la part du trafic utilisant ces équipements de gestion des données, à un veh.km.

Inclure (selon le fonctionnement pris pour hypothèse dans différents contextes) :

- La phase de fabrication, déploiement et fin de vie des calculateurs débarqués associés à un capteur débarqué (caméra ou LiDAR) lorsque les données sont traitées localement
- La phase de fabrication, déploiement et fin de vie des serveurs de calcul centralisés permettant de traiter les données issues des capteurs débarqués (caméras ou LiDAR) lorsque les données sont traitées de manière centralisée
- La phase de fabrication, déploiement et fin de vie des serveurs d'agrégation des informations de perception débarquée.

Limites et hypothèses :

La production couvre l'ensemble des composants nécessaires pour traiter les données issues des capteurs déployés sur un km d'infrastructure, durant une année de fonctionnement. Chaque capteur pouvant nécessiter un calculateur débarqué en cas de traitement local (ou deux en cas de redondance nécessaire) ou une fraction (Nb/Mut) d'un serveur central. Pour l'attribution on divise ces impacts par le flux annuel de véhicules utilisant ces équipements.

Différentes hypothèses de fonctionnement (traitement local ou centralisé) selon les contextes :

- Autoroutes : Les données brutes issues des caméras sont traitées en central par CentrCalc puis les informations obtenues sont transmises à CentrAgreg ; Les données brutes issues des LiDARs sont traités en local par RSCalculator puis les informations obtenues sont transmises à CentrAgreg ; Les données d'état des feux sont traitées par le contrôleur de carrefour puis diffusées au véhicule par l'UBR et remontées au serveur d'agrégation CentrAgreg) ; Les données d'état des barrières sont directement transmises à CentrAgreg. -> ok mais barrières non modélisées et gestion des données des feux connectés représentée par un serveur externalisé dans Traitement données – data.
- Urbain : Les données brutes issues des caméras et des LiDARs sont traités en local par RSCalculator puis les informations traitées sont envoyées au serveur Cloud de supervision. Les données d'état des feux sont traitées par les contrôleurs de carrefours (représentés par RSCalculator) puis diffusées au véhicule par l'UBR et remontées au serveur d'agrégation du gestionnaire de trafic. -> ok, la remontée des informations vers le serveur cloud de supervision et le serveur d'agrégation est inclus dans Traitement données – data.
- Rural ou périurbain : même fonctionnement qu'en urbain.->mêmes limites

Différentes hypothèses de degrés de mutualisation des équipements selon les contextes :

- Autoroutes : CentrAgreg – tout le trafic lorsque les caméras et Lidars sont mutualisés (servent l'exploitation), les véhicules connectés uniquement sinon ; CentrCalc – véhicules connectés ; RSCalculator associé aux LiDARs– véhicules connectés ; Contrôleurs de carrefours (représentés par RSCalculator) – tout le trafic + redondance nécessaire uniquement pour les véhicules autonomes (obtenir le niveau de sécurité nécessaire).
- Urbain : RSCalculator associé aux caméras et LiDARs – véhicules connectés si les caméras et LiDARs sont mutualisés avec tout le trafic (RSCameraMut ou RSLiDARMut=1), au service autonome sinon ; Contrôleurs de carrefours (représentés par RSCalculator) – tout le trafic + redondance nécessaire uniquement pour les véhicules autonomes (obtenir le niveau de sécurité nécessaire).
- Rural ou périurbain : mêmes hypothèses qu'en urbain.

Autoroute-Traitement données-Prod et fin de vie

| Flux d'entrée | Quantité | Unité | Provider |
|--------------------|---|-------|--------------------|
| Central Agregator | $\text{CentrAgregNb} / \text{CentrAgregMut} * \text{DensLinRSCameraAutoroute} / \text{LSCentrAgreg} / ((\text{MHTAutoroute} * (1 - \text{PartVehConnectes}) * \text{RSCameraMut} + \text{MHTAutoroute} * \text{PartVehConnectes} + \text{MHTServiceAutoroute}) * 24 * 365)$ | Items | Central Agregator |
| Central Agregator | $\text{CentrAgregNb} / \text{CentrAgregMut} * \text{DensLinRSLiDARAutoroute} / \text{LSCentrAgreg} / ((\text{MHTAutoroute} * (1 - \text{PartVehConnectes}) * \text{RSLiDARMut} + \text{MHTAutoroute} * \text{PartVehConnectes} + \text{MHTServiceAutoroute}) * 24 * 365)$ | Items | Central Agregator |
| Central Calculator | $\text{CentrCalcNb} / \text{CentrCalcMut} * \text{DensLinRSCameraAutoroute} / \text{LSCentrCalc} / ((\text{MHTAutoroute} * \text{PartVehConnectes} + \text{MHTServiceAutoroute}) * 24 * 365)$ | Items | Central Calculator |

| | | | |
|--------------|--|-------------|--------------|
| RSCalculator | DensLinRSLiDARAutoroute/LSRSCalculator/((MHTAutoroute*PartVehConnectes+MHTServiceAutoroute)*24*365) | Ite m(s) | RSCalculator |
| RSCalculator | DensLinCTLightsAutoroute/LSRSCalculator/((MHTAutoroute+MHTServiceAutoroute)*24*365)+DensLinCTLightsAutoroute/LSRSCalculator/((MHTServiceAutoroute)*24*365) | Ite m(s) | RSCalculator |

Urbain-Traitement données-Prod et fin de vie

| Flux d'entrée | Quantité | Unité | Provider |
|---------------|---|-------------|--------------|
| RSCalculator | DensLinRSLiDARUrb/LSRSCalculator/((MHTUrb*PartVehConnectes*RSLiDARMut+MHTServiceUrb)*24*365) | Ite m(s) | RSCalculator |
| RSCalculator | DensLinRSCameraUrb /LSRSCalculator /((MHTUrb*PartVehConnectes*RSCameraMut+MHTServiceUrb)*24*365) | Ite m(s) | RSCalculator |
| RSCalculator | DensLinCTLightsUrb/LSRSCalculator/((MHTUrb+MHTServiceUrb)*24*365)+DensLinCTLightsUrb /LSRSCalculator/((MHTServiceUrb)*24*365) | Ite m(s) | RSCalculator |

Rural-Traitement données-Prod et fin de vie

| Flux d'entrée | Quantité | Unité | Provider |
|---------------|---|-------------|--------------|
| RSCalculator | DensLinRSLiDARRural /LSRScalculator /((MHTRural*PartVehConnectes*RSLiDARMut+MHTServiceRural)*24*365) | Ite m(s) | RSCalculator |
| RSCalculator | DensLinRSCameraRural /LSRSCalculator /((MHTRural*PartVehConnectes*RSCameraMut+MHTServiceRural)*24*365) | Ite m(s) | RSCalculator |
| RSCalculator | DensLinCTLightsRural/LSRSCalculator/((MHTRural+MHTServiceRural)*24*365)+DensLinCTLightsRural /LSRSCalculator/((MHTServiceRural)*24*365) | Ite m(s) | RSCalculator |

Stationnement-Traitement données-Prod et fin de vie

(opération de stationnement) Contributions liées aux phases de fabrication et de fin de vie de l'ensemble des composants du système de traitement des données issues des capteurs de perception débarquée déployé dans un parc de stationnement équipé pour l'automatisation des opérations de stationnement, incluant leur remplacement et attribuables, compte tenu de la part des véhicules utilisant ces équipements, à une opération de stationnement effectuée.

Inclure :

- La phase de fabrication, déploiement et fin de vie des serveurs de calcul centralisés permettant de traiter les données issues des capteurs débarqués (caméras ou LiDAR)
- La phase de fabrication, déploiement et fin de vie des serveurs d'agrégation des informations de perception débarquée.

Limites et hypothèses :

La production couvre l'ensemble des composants nécessaires pour traiter les données issues des capteurs déployés en moyenne pour une place de stationnement équipée, qu'empruntera le véhicule pendant sa durée de vie, durant une année de fonctionnement. Chaque capteur pouvant

nécessiter une fraction (Nb/Mut) d'un serveur central. Pour l'attribution on divise ces impacts par le flux annuel de véhicules utilisant ces équipements.

Hypothèses de fonctionnement :

- Les données brutes issues des caméras sont traitées en central par CentrCalc puis les informations obtenues sont transmises à CentrAgreg ;
- Les données brutes issues des LiDARs sont traités en central par CentrCalc puis les informations obtenues sont transmises à CentrAgreg ;
- Les données d'état des barrières connectées sont directement transmises à CentrAgreg (barrières représentées par CTLightsPark).

Hypothèses de mutualisation des équipements :

- CentrAgreg – tout le trafic lorsque les caméras et Lidars sont mutualisés (servent l'exploitation), les véhicules connectés uniquement sinon ;
- CentrCalc – véhicules connectés

| Flux d'entrée | Quantité | Unité | Provider |
|-------------------|---|---------|-------------------|
| CentralCalculator | $\text{CentrCalcNb} / \text{CentrCalcMut} * (\text{DensRSCameraPark} + \text{DensRSLiDARPark}) / \text{LSCentrCalc} / ((\text{MHTStationnement} * \text{PartVehConnectes} + \text{MHTServiceStationnement}) * 24 * 365)$ | Item(s) | CentralCalculator |
| CentralAgregator | $\text{CentrAgregNb} / \text{CentrAgregMut} * \text{DensCTLightsPark} / \text{LSCentrAgreg} / ((\text{MHTStationnement} + \text{MHTServiceStationnement}) * 24 * 365)$ | Item(s) | CentralAgregator |
| CentralAgregator | $\text{CentrAgregNb} / \text{CentrAgregMut} * \text{DensRSCameraPark} / \text{LSCentrAgreg} / ((\text{MHTStationnement} * (1 - \text{PartVehConnectes}) * \text{RSCameraMut} + \text{MHTStationnement} * \text{PartVehConnectes} + \text{MHTServiceStationnement}) * 24 * 365)$ | Item(s) | CentralAgregator |
| CentralAgregator | $\text{CentrAgregNb} / \text{CentrAgregMut} * \text{DensRSLiDARPark} / \text{LSCentrAgreg} / ((\text{MHTStationnement} * (1 - \text{PartVehConnectes}) * \text{RSLidARMut} + \text{MHTStationnement} * \text{PartVehConnectes} + \text{MHTServiceStationnement}) * 24 * 365)$ | Item(s) | CentralAgregator |

Autoroute-Telecom-Prod et fin de vie

Urbain-Telecom-Prod et fin de vie

Rural-Telecom-Prod et fin de vie

(veh.km) Contributions liées aux phases de fabrication et de fin de vie de l'ensemble des composants du système de télécom déployé respectivement :

- sur autoroutes
- en contexte urbain
- en contexte rural ou périurbain

Incluant leur remplacement et attribuables, compte tenu de la part du trafic utilisant ces équipements de télécommunication, à un veh.km.

Inclure :

- Fabrication, déploiement et fin de vie des unités de bord de route ->ok, cf limites de modélisation du composant RSU
- Fabrication, déploiement et fin de vie des antennes radio (type TETRA) -> non modélisé
- Fabrication, déploiement et fin de vie des antennes cellulaires 3G/4G ou 5G -> non modélisé

- Fabrication, déploiement et fin de vie des Data Centres/Serveurs Cloud -> non modélisé

Limites et hypothèses :

La production couvre l'ensemble des composants nécessaires sur un km d'infrastructure, représentatif en moyenne du territoire dans lequel devra évoluer le véhicule pendant sa durée de vie, pour une année de fonctionnement. Cette production sera représentée par la densité linéaire moyenne d'équipements ramenée à une année via la durée de vie. Pour l'attribution on divise ces impacts par le flux annuel de véhicules utilisant ces équipements.

Hypothèses de fonctionnement selon les contextes :

- Autoroutier : Les UBRs sont implantés aux points singuliers (insertions, échangeurs)
- Urbain : Les UBRs sont associées aux capteurs de perception débarquée (caméra, LiDARs) et aux feux connectés. Une UBR peut être utilisée pour transmettre les informations de plusieurs sources à proximité.
- Rural et périurbain : Les UBRs sont associées aux capteurs de perception débarquée (caméra, LiDARs) et aux feux connectés. Une UBR peut être utilisée pour transmettre les informations de plusieurs sources à proximité.

Hypothèses de mutualisation selon les contextes :

- autoroutier : unités de bord de route – véhicules connectés
- urbain : unités de bord de route – véhicules connectés (la distinction entre les UBRs associées aux capteurs débarqués et aux feux connectés n'a pas été modélisée donc le cas où ils sont dédiés au service autonome n'est pas modélisé)
- rural et périurbain : unités de bord de route – véhicules connectés (la distinction entre les UBRs associées aux capteurs débarqués et aux feux connectés n'a pas été modélisée donc le cas où ils sont dédiés au service autonome n'est pas modélisé)

Le modèle de mutualisation s'appuie sur l'hypothèse que les UBRs fonctionnent en mode broadcast: l'énergie qu'ils consomment ne dépend pas de la quantité d'informations effectivement utiles qu'elles transmettent. Donc pour qu'un utilisateur potentiel puisse bénéficier d'une quantité quelconque d'informations utiles, les UBRs doivent fonctionner en permanence et transmettre des données en permanence. Donc diviser par les usagers potentiels est correct. Si les UBRs fonctionnaient en mode mono-cast leur consommation d'énergie serait différente et la mutualisation devrait prendre en compte la quantité de données effectivement consommées par chaque type de véhicules.

Autoroute-Telecom-Prod et fin de vie

| Flux d'entrée | Quantité | Unité | Provider |
|---------------|---|---------|----------|
| RSU | $\text{DensLinRSUAutoroute} / \text{LSRSU} / ((\text{MHTAutoroute} * \text{PartVehConnectes} + \text{MHTServiceAutoroute}) * 24 * 365)$ | Item(s) | RSU |

Urbain-Telecom-Prod et fin de vie

| Flux d'entrée | Quantité | Unité | Provider |
|---------------|---|---------|----------|
| RSU | $\text{DensLinRSUUrb} / \text{LSRSU} / ((\text{MHTUrb} * \text{PartVehConnectes} + \text{MHTServiceUrb}) * 24 * 365)$ | Item(s) | RSU |

Rural-Telecom-Prod et fin de vie

| Flux d'entrée | Quantité | Unité | Provider |
|---------------|--|---------|----------|
| RSU | DensLinRSURural/LSRSU/((MHTRural *PartVehConnectes +MHTServiceRural) *24*365) | Item(s) | RSU |

Stationnement-Telecom-Prod et fin de vie

(opération stationnement) Contributions liées aux phases de fabrication et de fin de vie de l'ensemble des composants du système de télécom déployé dans un parc de stationnement équipé pour l'automatisation des opérations de stationnement, incluant leur remplacement et attribuables, compte tenu de la part des véhicules utilisant ces équipements, à une opération de stationnement effectuée.

Inclure :

- Fabrication, déploiement et fin de vie des unités de bord de route ->ok, cf limites de modélisation du composant RSU
- Fabrication, déploiement et fin de vie des antennes radio (type TETRA) -> non modélisé
- Fabrication, déploiement et fin de vie des antennes cellulaires 3G/4G ou 5G -> non modélisé
- Fabrication, déploiement et fin de vie des Data Centres/Serveurs Cloud -> non modélisé

Limites et hypothèses :

La production couvre l'ensemble des composants nécessaires pour une année de fonctionnement sur les places de stationnement équipées qu'empreintera le véhicule pendant sa durée de vie. Cette production sera représentée par la densité moyenne d'équipements par place de stationnement dans un parking équipé ramenée à une année via la durée de vie. Pour l'attribution on divise ces impacts par le flux annuel de véhicules utilisant ces équipements.

Hypothèses de fonctionnement selon les contextes :

- Les UBRs sont implantés indépendamment des capteurs de perception débarquée, afin d'assurer une bonne communication en tout point du parc de stationnement (hypothèse à valider)

Hypothèses de mutualisation selon les contextes :

- unités de bord de route – véhicules connectés

Le modèle de mutualisation s'appuie sur l'hypothèse que les UBRs fonctionnent en mode broadcast: l'énergie qu'ils consomment ne dépend pas de la quantité d'informations effectivement utiles qu'elles transmettent. Donc pour qu'un utilisateur potentiel puisse bénéficier d'une quantité quelconque d'informations utiles, les UBRs doivent fonctionner en permanence et transmettre des données en permanence. Donc diviser par les usagers potentiels est correct. Si les UBRs fonctionnaient en mode mono-cast leur consommation d'énergie serait différente et la mutualisation devrait prendre en compte la quantité de données effectivement consommées par chaque type de véhicules.

| | | | |
|---------------|---|---------|----------|
| Flux d'entrée | Quantité | Unité | Provider |
| RSU | DensRSUPark /LSRSU/((MHTStationnement *PartVehConnectes +MHTServiceStationnement)*24*365) | Item(s) | RSU |

4.4.3.2.2 Vie en œuvre

Route-Vie en oeuvre

(veh.km) Contributions liées à la phase de vie en oeuvre de la route et de la signalisation routière horizontale et verticale, attribuables, compte tenu du trafic sur cette infrastructure, à un veh.km.

Inclure :

- La phase d'usage de la signalisation routière (leur entretien) -> non modélisé
- La phase d'usage de la chaussée (son entretien et celui des abords dont végétation) -> ok
- + La phase d'usage des places de stationnement (leur énergie propre - éclairage, leur entretien) -> non modélisé

Limites et précautions :

La mutualisation pour attribution à un veh.km : les hypothèses de mutualisation sont tirées des recommandations formulées dans la base de données ecoinvent 3.6 (explicitées dans le processus « road maintenance | road maintenance | Cutoff, U – CH ») et non explicitement à partir du trafic spécifique dans le cas d'usage. L'hypothèse sous-jacente est celle de la circulation en trafic mixte et non de voies dédiées.

| Flux d'entrée | Quantité | Unité | Provider |
|------------------|----------|-------|--|
| road maintenance | 0.00129 | m*a | market for road maintenance road maintenance Cutoff, S - RER |

Service-Vie en oeuvre

(veh.km) Contributions liées à la phase de vie en oeuvre de l'ensemble des équipements de l'infrastructure liées au service (arrêts, dépôts, sites de remisage etc...), attribuables, compte tenu du trafic des véhicules du service sur cette infrastructure, à un veh.km.

Inclure:

- La phase d'usage des arrêts -> non modélisé (exclu du périmètre d'ACV des systèmes techniques, à inclure dans l'ACV service)
- La phase d'usage des dépôts, aires d'attente, sites de remisage, ateliers de maintenance -> non modélisé (exclu du périmètre d'ACV des systèmes techniques, à inclure dans l'ACV service)
- La phase d'usage des bornes de recharge électriques, stations services, garages -> non modélisé (hypothèse d'une mutualisation très importante d'une part et d'une utilisation équivalente pour l'ensemble des modes de l'écosystème de mobilité du territoire d'autre part)

Limites et hypothèses :

Les éléments de ce système n'ont pas été modélisés dans le périmètre d'ACV des systèmes techniques mais devront être inclus pour l'ACV service. Il peut y avoir plusieurs degrés de mutualisation :

- les équipements sont mutualisés uniquement par les véhicules du service (on divise par le débit annuel du service total (incluant toute la flotte)
- les équipements sont mutualisés avec d'autres services de mobilité (par exemple lorsque les feux connectés servent aux navettes autonomes et aux bus conventionnels) (on divise par le débit annuel total de ces deux services)
- les équipements sont publics.

| Flux d'entrée | Quantité | Unité | Provider |
|--|----------|-------|----------|
| | | | |
| Flux de sortie (si hors flux de référence) | | | |
| | | | |

Autoroute-Geopositionnement-Vie en oeuvre

Urbain-Geopositionnement-Vie en oeuvre

Rural-Geopositionnement-Vie en oeuvre

(veh.km) Contributions liées à la phase de vie en oeuvre de l'ensemble des composants du système de géopositionnement déployé respectivement :

- sur autoroutes
- en contexte urbain
- en contexte rural ou périurbain

Attribuables, compte tenu de la part du trafic utilisant ces équipements d'infrastructure, à un veh.km.

Inclure :

- L'énergie consommée et l'entretien des balises relais GNSS - non modélisé (hypothèse de densité d'équipement très faible en général)

Limites et hypothèses :

La vie en oeuvre couvre l'ensemble des composants nécessaires sur un km d'infrastructure, représentatif en moyenne du territoire dans lequel devra évoluer le véhicule pendant sa durée de vie, pour une année de fonctionnement. Cette production sera représentée par la densité linéaire moyenne d'équipements ramenée à une année via la durée de vie.

Pour l'attribution au veh.km, on vient diviser le fonctionnement des équipements durant une année de fonctionnement et un km d'infrastructure par le débit de trafic routier annuel de cette infrastructure (dans les deux sens). On fera l'hypothèse que les équipements de géopositionnement (relais GNSS) seront utilisés par l'ensemble des véhicules routiers et non seulement par les véhicules connectés.

Autoroute-Geopositionnement-Vie en oeuvre

| Flux d'entrée | Quantité | Unité | Provider |
|--|----------|-------|----------|
| | | | |
| Flux de sortie (si hors flux de référence) | | | |
| | | | |

Urbain-Geopositionnement-Vie en oeuvre

| Flux d'entrée | Quantité | Unité | Provider |
|--|----------|-------|----------|
| | | | |
| Flux de sortie (si hors flux de référence) | | | |
| | | | |

Rural-Geopositionnement-Vie en oeuvre

| Flux d'entrée | Quantité | Unité | Provider |
|--|----------|-------|----------|
| | | | |
| Flux de sortie (si hors flux de référence) | | | |
| | | | |

Stationnement-Geopositionnement-Vie en oeuvre

(opération de stationnement) Contributions liées à la phase de vie en oeuvre de l'ensemble des composants du système de géopositionnement déployé dans un parc de stationnement équipé pour l'automatisation du stationnement, compte tenu de la part des véhicules utilisant ces équipements du parc de stationnement, à une opération de stationnement effectuée.

Inclure :

- L'énergie consommée et l'entretien des balises relais GNSS - non modélisé pour l'instant ce cas d'usage n'ayant pas encore été traité.

Limites et hypothèses

La vie en oeuvre couvre l'ensemble des processus nécessaires pour une année de fonctionnement sur une place de stationnement équipée pour l'automatisation, représentative en moyenne du territoire dans lequel devra évoluer le véhicule pendant sa durée de vie, pour une année de fonctionnement. Cette phase sera représentée par la densité moyenne d'équipements par place de stationnement et leur fonctionnement pendant une année.

Pour l'attribution à l'opération de stationnement, on vient diviser le fonctionnement des équipements durant une année de fonctionnement et une place de stationnement équipée par le débit de stationnement annuel de cette place de stationnement. On fera l'hypothèse que les équipements de géopositionnement (relais GNSS) seront utilisés par l'ensemble des véhicules routiers et non seulement par les véhicules connectés.

| Flux d'entrée | Quantité | Unité | Provider |
|--|----------|-------|----------|
| | | | |
| Flux de sortie (si hors flux de référence) | | | |
| | | | |

Autoroute-Perception débarquée-Vie en oeuvre

Urbain-Perception débarquée-Vie en oeuvre

Rural-Perception débarquée-Vie en oeuvre

(veh.km) Contributions liées à la phase de vie en oeuvre de l'ensemble des composants du système de perception débarquée déployé respectivement :

- sur autoroutes
- en contexte urbain
- en contexte rural ou périurbain

Attribuables, compte tenu de la part du trafic utilisant ces équipements d'infrastructure, à un veh.km.

Inclure :

- L'énergie consommée et l'entretien des barrières connectées -> non modélisé
- L'énergie consommée et l'entretien des feux connectés -> les feux tricolores ne sont pas explicitement modélisés (leurs UBRs éventuels sont dans le système de Telecom, les contrôleurs de carrefours sont dans Traitement données)
- L'énergie consommée et l'entretien des caméras de bord de route -> énergie ok, l'entretien non modélisé pour l'instant
- L'énergie consommée et l'entretien des caméras thermiques -> non modélisé
- L'énergie consommée et l'entretien des LiDARs -> énergie ok, l'entretien non modélisé
- L'énergie consommée et l'entretien des Radars -> non modélisé
- L'énergie consommée et l'entretien des capteurs météo, boucles de comptage trafic -> non modélisé

Limites et hypothèses :

La vie en oeuvre couvre l'ensemble des processus nécessaires pour un km d'infrastructure, représentatif en moyenne du territoire dans lequel devra évoluer le véhicule pendant sa durée de vie, pour une année de fonctionnement. Cette phase sera représentée par la densité linéaire moyenne d'équipements et leur fonctionnement pendant une année. Pour l'attribution on divise ces impacts par le flux annuel de véhicules utilisant ces équipements.

Différents degrés de mutualisation des équipements sont pris pour hypothèse :

- Barrières - partagés par tous les usagers traversant la barrière
- Feux tricolores – partagés par tous les usagers de la route
- Caméras visibles et LiDARs : l'hypothèse de mutualisation du scénario est précisée par le paramètre RSCameraMut et RSLiDARMut - lorsqu'ils sont mutualisés (paramètre à 1) - on considère qu'ils le sont pour tous les véhicules (type camera de surveillance ou Lidar de détection d'UVR pour tout le trafic); lorsqu'ils sont dédiés (paramètre à 0) - on considère qu'ils sont utilisés par le sous-ensemble de véhicules connectés dans les contextes autoroutier et dédiés au service autonome dans les contextes urbain et rural, c'est-à-dire qu'ils ne sont pas utilisés par les autres véhicules connectés.

Autoroute-Perception débarquée-Vie en oeuvre

| Flux d'entrée | Quantité | Unité | Provider |
|---------------|--|-------|--------------|
| RSCamera-use | DensLinRSCameraAutoroute/((MHTAutoroute*(1-PartVehConnectes) *RSCameraMut +MHTAutoroute *PartVehConnectes +MHTServiceAutoroute)*24*365) | a | RSCamera-use |
| RSLiDAR-use | DensLinRSLiDARAutoroute/((MHTAutoroute*(1-PartVehConnectes) *RSLiDARMut +MHTAutoroute *PartVehConnectes +MHTServiceAutoroute)*24*365) | a | RSLiDAR-use |

Urbain-Perception débarquée-Vie en oeuvre

| Flux d'entrée | Quantité | Unité | Provider |
|---------------|---|-------|--------------|
| RSCamera-use | DensLinRSCameraUrb/((MHTUrb *RSCameraMut +MHTServiceUrb)*24*365) | a | RSCamera-use |
| RSLiDAR-use | DensLinRSLiDARUrb/((MHTUrb *RSLiDARMut +MHTServiceUrb)*24*365) | a | RSLiDAR-use |

Rural-Perception débarquée-Vie en oeuvre

| Flux d'entrée | Quantité | Unité | Provider |
|---------------|---|-------|--------------|
| RSCamera-use | DensLinRSCameraRural/((MHTRural *RSCameraMut +MHTServiceRural)*24*365) | a | RSCamera-use |
| RSLiDAR-use | DensLinRSLiDARRural/((MHTRural *RSLiDARMut +MHTServiceRural)*24*365) | a | RSLiDAR-use |

Stationnement-Perception débarquée-Vie en oeuvre

(opération de stationnement) Contributions liées à la phase de vie en oeuvre de l'ensemble des composants du système de perception débarquée déployé dans un parc de stationnement équipé pour l'automatisation des opérations de stationnement, attribuables, compte tenu de la part des véhicules utilisant ces équipements, à une opération de stationnement effectuée.

Inclure :

- L'énergie consommée et l'entretien des barrières connectés -> non modélisé
- L'énergie consommée et l'entretien des feux connectés -> les feux tricolores ne sont pas explicitement modélisés (leurs UBRs éventuels sont dans le système de Telecom, les contrôleurs locaux sont dans Traitement données)
- L'énergie consommée et l'entretien des caméras débarquée-> ok, énergie, entretien non modélisé
- L'énergie consommée et l'entretien des caméras thermiques -> non modélisé
- L'énergie consommée et l'entretien des LiDARs -> énergie ok, l'entretien non modélisé
- L'énergie consommée et l'entretien des Radars -> non modélisé

Limites et hypothèses :

La vie en oeuvre couvre l'ensemble des processus nécessaires pour une année de fonctionnement sur les places de stationnement équipées qu'empreintera le véhicule pendant sa durée de vie. Cette phase sera représentée par la densité moyenne d'équipements par place de stationnement dans un parking équipé et leur fonctionnement pendant une année. Pour l'attribution on divise ces impacts par le flux annuel de véhicules utilisant ces équipements.

Différents degrés de mutualisation des équipements sont pris pour hypothèse :

- Feux et barrières - partagés par tous les usagers du parking équipé

- Caméras visibles et LiDARs : l'hypothèse de mutualisation du scénario est précisée par le paramètre RSCameraMut et RSLiDARMut - lorsqu'ils sont mutualisés (paramètre à 1) - on considère qu'ils le sont pour tous les véhicules (type camera de surveillance ou Lidar de détection d'UVR pour tout le trafic); lorsqu'ils sont dédiés (paramètre à 0) - on considère qu'ils sont utilisés par le sous-ensemble de véhicules connectés.

| Flux d'entrée | Quantité | Unité | Provider |
|---------------|---|-------|--------------|
| RSCamera-use | $DensRSCameraPark / ((MHTStationnement * (1 - PartVehConnectes) * RSCameraMut + MHTStationnement * PartVehConnectes + MHTServiceStationnement) * 24 * 365)$ | a | RSCamera-use |
| RSLiDAR-use | $DensRSLiDARPark / ((MHTStationnement * (1 - PartVehConnectes) * RSLiDARMut + MHTStationnement * PartVehConnectes + MHTServiceStationnement) * 24 * 365)$ | a | RSLiDAR-use |

Autoroute-Traitement données-Vie en œuvre

Urbain-Traitement données-Vie en œuvre

Rural-Traitement données-Vie en œuvre

(veh.km) Contributions liées à la phase de vie en œuvre de l'ensemble des composants du système de traitement des données issues des capteurs de perception débarquée déployé respectivement :

- sur autoroutes
- en contexte urbain
- en contexte rural ou périurbain

Attribuables, compte tenu de la part du trafic utilisant ces équipements de gestion des données, à un veh.km.

Inclure (selon le fonctionnement pris pour hypothèse dans différents contextes) :

- L'énergie consommée et l'entretien des calculateurs débarqués associés à un capteur débarqué (caméra ou LiDAR) lorsque les données sont traitées localement -> énergie ok, l'entretien non modélisé
- L'énergie consommée et l'entretien des serveurs de calcul centralisés permettant de traiter les données issues des capteurs débarqués (caméras ou LiDAR) lorsque les données sont traitées de manière centralisée -> énergie ok, l'entretien non modélisé
- L'énergie consommée et l'entretien des serveurs d'agrégation des informations de perception débarquée. -> énergie ok, l'entretien non modélisé

Limites et hypothèses :

La vie en œuvre couvre l'ensemble des processus nécessaires pour traiter les données issues des capteurs déployés sur un km d'infrastructure, durant une année de fonctionnement. Chaque capteur pouvant nécessiter un calculateur débarqué en cas de traitement local (ou deux en cas de redondance nécessaire) ou une fraction (Nb/Mut) d'un serveur central. Pour l'attribution on divise ces impacts par le flux annuel de véhicules utilisant ces équipements.

Différentes hypothèses de fonctionnement (traitement local ou centralisé) selon les contextes :

- Autoroutes : Les données brutes issues des caméras sont traitées en central par CentrCalc puis les informations obtenues sont transmises à CentrAgreg ; Les données brutes issues des LiDARs sont traités en local par RSCalculator puis les informations obtenues sont transmises à CentrAgreg ; Les données d'état des feux sont traitées par le contrôleur de carrefour puis diffusées au véhicule par l'UBR et remontées au serveur d'agrégation CentrAgreg ; Les données d'état des barrières sont directement transmises à CentrAgreg. -> ok mais barrières non modélisées et gestion des données des feux connectés représentée par un serveur externalisé dans Traitement données – data.
- Urbain : Les données brutes issues des caméras et des LiDARs sont traités en local par RSCalculator puis les informations traitées sont envoyées au serveur Cloud de supervision. Les données d'état des feux sont traitées par le contrôleurs de carrefours (représentés par RSCalculator) puis diffusées au véhicule par l'UBR et remontées au serveur d'agrégation du gestionnaire de trafic. -> ok, la remontée des informations vers le serveur cloud de supervision et le serveur d'agrégation est inclus dans Traitement données – data.
- Rural ou périurbain : même fonctionnement qu'en urbain.->mêmes limites

Différentes hypothèses de degrés de mutualisation des équipements selon les contextes :

- Autoroutes : CentrAgreg – tout le trafic lorsque les caméras et Lidars sont mutualisés (servent l'exploitation), les véhicules connectés uniquement sinon ; CentrCalc – véhicules connectés ; RSCalculator associé aux LiDARs– véhicules connectés ; Contrôleurs de carrefours (représentés par RSCalculator) – tout le trafic + redondance nécessaire uniquement pour les véhicules autonomes (obtenir le niveau de sécurité nécessaire).
- Urbain : RSCalculator associé aux caméras et LiDARs – véhicules connectés si les caméras et LiDARs sont mutualisés avec tout le trafic (RSCameraMut ou RSLiDARMut=1), au service autonome sinon ; Contrôleurs de carrefours (représentés par RSCalculator) – tout le trafic + redondance nécessaire uniquement pour les véhicules autonomes (obtenir le niveau de sécurité nécessaire).
- Rural ou périurbain : mêmes hypothèses qu'en urbain.

Autoroute-Traitement données-Vie en oeuvre

| Flux d'entrée | Quantité | Unité | Provider |
|-----------------------|---|-------|-----------------------|
| CentralAgregator-use | $\text{CentrAgregNb} / \text{CentrAgregMut} * \text{DensLinRSCameraAutoroute} / ((\text{MHTAutoroute} * (1 - \text{PartVehConnectes}) * \text{RSCameraMut} + \text{MHTAutoroute} * \text{PartVehConnectes} + \text{MHTServiceAutoroute}) * 24 * 365)$ | a | CentralAgregator-use |
| CentralAgregator-use | $\text{CentrAgregNb} / \text{CentrAgregMut} * \text{DensLinRSLiDARAutoroute} / ((\text{MHTAutoroute} * (1 - \text{PartVehConnectes}) * \text{RSLiDARMut} + \text{MHTAutoroute} * \text{PartVehConnectes} + \text{MHTServiceAutoroute}) * 24 * 365)$ | a | CentralAgregator-use |
| CentralCalculator-use | $\text{CentrCalcNb} / \text{CentrCalcMut} * \text{DensLinRSCameraAutoroute} / ((\text{MHTAutoroute} * \text{PartVehConnectes} + \text{MHTServiceAutoroute}) * 24 * 365)$ | a | CentralCalculator-use |
| RSCalculator-use | $\text{DensLinCTLightsAutoroute} / ((\text{MHTAutoroute} + \text{MHTServiceAutoroute}) * 24 * 365) + \text{DensLinCTLightsAutoroute} / ((\text{MHTServiceAutoroute}) * 24 * 365)$ | a | RSCalculator-use |
| RSCalculator-use | $\text{DensLinRSLiDARAutoroute} / ((\text{MHTAutoroute} * \text{PartVehConnectes} + \text{MHTServiceAutoroute}) * 24 * 365)$ | a | RSCalculator-use |

Urbain-Traitement données-Vie en oeuvre

| Flux d'entrée | Quantité | Unité | Provider |
|---------------|----------|-------|----------|
|---------------|----------|-------|----------|

| | | | |
|----------------------|---|---|----------------------|
| RSCalculator -use | DensLinRSLiDARUrb/ $((\text{MHTUrb} * \text{PartVehConnectes} * \text{RSLiDARMut} + \text{MHTServiceUrb}) * 24 * 365)$ | a | RSCalculator -use |
| RSCalculator -use | DensLinCTLightsUrb/ $((\text{MHTUrb} + \text{MHTServiceUrb}) * 24 * 365) + \text{DensLinCTLightsUrb} / ((\text{MHTServiceUrb}) * 24 * 365)$ | a | RSCalculator -use |
| RSCalculator -use | DensLinRSCameraUrb / $((\text{MHTUrb} * \text{PartVehConnectes} * \text{RSCameraMut} + \text{MHTServiceUrb}) * 24 * 365)$ | a | RSCalculator -use |

Rural-Traitement données-Vie en oeuvre

| Flux d'entrée | Quantité | Unité | Provider |
|-----------------------|---|-------|-----------------------|
| RSCalculator r-use | DensLinRSCameraRural / $((\text{MHRural} * \text{PartVehConnectes} * \text{RSCameraMut} + \text{MHTServiceRural}) * 24 * 365)$ | a | RSCalculator r-use |
| RSCalculator r-use | DensLinRSLiDARRural / $((\text{MHRural} * \text{PartVehConnectes} * \text{RSLiDARMut} + \text{MHTServiceRural}) * 24 * 365)$ | a | RSCalculator r-use |
| RSCalculator r-use | DensLinCTLightsRural / $((\text{MHRural} + \text{MHTServiceRural}) * 24 * 365) + \text{DensLinCTLightsRural} / ((\text{MHTServiceRural}) * 24 * 365)$ | a | RSCalculator r-use |

Stationnement-Traitement données-Vie en oeuvre

(opération de stationnement) Contributions liées à la phase de vie en oeuvre de l'ensemble des composants du système de traitement des données issues des capteurs de perception débarquée déployé dans un parc de stationnement équipé pour l'automatisation des opérations de stationnement, attribuables, compte tenu de la part des véhicules utilisant ces équipements, à une opération de stationnement effectuée.

Inclure :

- L'énergie consommée et l'entretien des serveurs de calcul centralisés permettant de traiter les données issues des capteurs débarqués (caméras ou LiDAR)
- L'énergie consommée et l'entretien des serveurs d'agrégation des informations issues de l'ensemble des sources de données déployées sur l'infrastructure (cf système de perception débarquée).

Limites et hypothèses :

La vie en oeuvre couvre l'ensemble des processus nécessaires pour traiter les données issues des capteurs déployés en moyenne pour une place de stationnement équipée, qu'empruntera le véhicule pendant sa durée de vie, durant une année de fonctionnement. Chaque capteur pouvant nécessiter une fraction (Nb/Mut) d'un serveur central. Pour l'attribution on divise ces impacts par le flux annuel de véhicules utilisant ces équipements.

Hypothèses de fonctionnement :

- Les données brutes issues des caméras sont traitées en central par CentrCalc puis les informations obtenues sont transmises à CentrAgreg ;
- Les données brutes issues des LiDARs sont traités en central par CentrCalc puis les informations obtenues sont transmises à CentrAgreg ;
- Les données d'état des barrières connectées sont directement transmises à CentrAgreg (barrières représentées par CTLightsPark).

Hypothèses de mutualisation des équipements :

- CentrAgreg – tout le trafic lorsque les caméras et Lidars sont mutualisés (servent l'exploitation), les véhicules connectés uniquement sinon ;
- CentrCalc – véhicules connectés

| Flux d'entrée | Quantité | Unité | Provider |
|-----------------------|--|-------|-----------------------|
| CentralAgregator-use | $\text{CentrAgregNb/CentrAgregMut} * \text{DensRSLiDARPark} / ((\text{MHTStationnement} * (1 - \text{PartVehConnectes}) * \text{RSLiDARMut} + \text{MHTStationnement} * \text{PartVehConnectes} + \text{MHTServiceStationnement}) * 24 * 365)$ | a | CentralAgregator-use |
| CentralAgregator-use | $\text{CentrAgregNb/CentrAgregMut} * \text{DensRSCameraPark} / ((\text{MHTStationnement} * (1 - \text{PartVehConnectes}) * \text{RSCameraMut} + \text{MHTStationnement} * \text{PartVehConnectes} + \text{MHTServiceStationnement}) * 24 * 365)$ | a | CentralAgregator-use |
| CentralAgregator-use | $\text{CentrAgregNb/CentrAgregMut} * \text{DensCTLightsPark} / ((\text{MHTStationnement} + \text{MHTServiceStationnement}) * 24 * 365)$ | a | CentralAgregator-use |
| CentralCalculator-use | $\text{CentrCalcNb/CentrCalcMut} * (\text{DensRSCameraPark} + \text{DensRSLiDARPark}) / ((\text{MHTStationnement} * \text{PartVehConnectes} + \text{MHTServiceStationnement}) * 24 * 365)$ | a | CentralCalculator-use |

Autoroute-Telecom-Vie en œuvre

Urbain-Telecom-Vie en oeuvre

Rural-Telecom-Vie en oeuvre

(veh.km) Contributions liées à la phase de vie en oeuvre de l'ensemble des composants du système de télécom déployé respectivement :

- sur autoroutes
- en contexte urbain
- en contexte rural ou périurbain

Attribuables, compte tenu de la part du trafic utilisant ces équipements de télécommunication, à un veh.km.

Inclure :

- L'énergie consommée et l'entretien des unités de bord de route ->ok, cf limites de modélisation du composant RSU
- L'énergie consommée et l'entretien des antennes radio (type TETRA) -> non modélisé
- L'énergie consommée et l'entretien des antennes cellulaires 3G/4G ou 5G -> représenté dans traitement données – data à travers la consommation d'énergie par quantité de données transmises
- L'énergie consommée et l'entretien des Data Centres/Serveurs Cloud -> les serveurs des centres d'exploitation locaux (PCC infrastructure et/ou supervision) sont représentés dans les processus « traitement données » ; pour les data transitant par des serveurs externalisés Cloud, l'énergie par quantité de data transmise est comptabilisées dans les processus « traitement données – data ».

Limites et hypothèses :

La vie en oeuvre couvre l'ensemble des processus nécessaires sur un km d'infrastructure, représentatif en moyenne du territoire dans lequel devra évoluer le véhicule pendant sa durée de vie, pour une année de fonctionnement. Cette production sera représentée par la densité linéaire

moyenne d'équipements et leur fonctionnement pendant un an. Pour l'attribution on divise ces impacts par le flux annuel de véhicules utilisant ces équipements.

Hypothèses de fonctionnement selon les contextes :

- Autoroutier : Les UBRs sont implantés aux points singuliers (insertions, échangeurs)
- Urbain : Les UBRs sont associées aux capteurs de perception débarquée (caméra, LiDARs) et aux feux connectés. Une UBR peut être utilisée pour transmettre les informations de plusieurs sources à proximité.
- Rural et périurbain : Les UBRs sont associées aux capteurs de perception débarquée (caméra, LiDARs) et aux feux connectés. Une UBR peut être utilisée pour transmettre les informations de plusieurs sources à proximité.

Hypothèses de mutualisation selon les contextes :

- autoroutier : unités de bord de route – véhicules connectés
- urbain : unités de bord de route – véhicules connectés (la distinction entre les UBRs associées aux capteurs débarqués et aux feux connectés n'a pas été modélisée donc le cas où ils sont dédiés au service autonome n'est pas modélisé)
- rural et périurbain : unités de bord de route – véhicules connectés (la distinction entre les UBRs associées aux capteurs débarqués et aux feux connectés n'a pas été modélisée donc le cas où ils sont dédiés au service autonome n'est pas modélisé)

Le modèle de mutualisation s'appuie sur l'hypothèse que les UBRs fonctionnent en mode broadcast: l'énergie qu'ils consomment ne dépend pas de la quantité d'informations effectivement utiles qu'elles transmettent. Donc pour qu'un utilisateur potentiel puisse bénéficier d'une quantité quelconque d'informations utiles, les UBRs doivent fonctionner en permanence et transmettre des données en permanence. Donc diviser par les usagers potentiels est correct. Si les UBRs fonctionnaient en mode mono-cast leur consommation d'énergie serait différente et la mutualisation devrait prendre en compte la quantité de données effectivement consommées par chaque type de véhicules.

Autoroute-Telecom-Vie en oeuvre

| Flux d'entrée | Quantité | Unité | Provider |
|---------------|--|-------|----------|
| RSU-use | $\text{DensLinRSUAutoroute} / ((\text{MHTAutoroute} * \text{PartVehConnectes} + \text{MHTServiceAutoroute}) * 24 * 365)$ | a | RSU-use |

Urbain-Telecom-Vie en oeuvre

| Flux d'entrée | Quantité | Unité | Provider |
|---------------|--|-------|----------|
| RSU-use | $\text{DensLinRSUUrb} / ((\text{MHTUrb} * \text{PartVehConnectes} + \text{MHTServiceUrb}) * 24 * 365)$ | a | RSU-use |

Rural-Telecom-Vie en oeuvre

| Flux d'entrée | Quantité | Unité | Provider |
|---------------|--|-------|----------|
| RSU-use | $\text{DensLinRSURural} / ((\text{MHTRural} * \text{PartVehConnectes} + \text{MHTServiceRural}) * 24 * 365)$ | a | RSU-use |

Stationnement-Telecom-Vie en oeuvre

(opération stationnement) Contributions liées à la phase de vie en oeuvre de l'ensemble des composants du système de télécom déployé dans un parc de stationnement équipé pour l'automatisation des opérations de stationnement, attribuables, compte tenu de la part des véhicules utilisant ces équipements, à une opération de stationnement effectuée.

Inclure :

- L'énergie consommée et l'entretien des unités de bord de route -> ok, cf limites de modélisation du composant RSU

- L'énergie consommée et l'entretien des antennes radio (type TETRA) -> non modélisé

- L'énergie consommée et l'entretien des antennes cellulaires 3G/4G ou 5G -> représenté dans traitement données – data à travers la consommation d'énergie par quantité de données transmises

- L'énergie consommée et l'entretien des Data Centres/Serveurs Cloud -> -> les serveurs des centres d'exploitation locaux (PCC infrastructure et/ou supervision) sont représentés dans les processus « traitement données » ; pour les data transitant par des serveurs externalisés Cloud, l'énergie par quantité de data transmise est comptabilisées dans les processus « traitement données – data ».

Limites et hypothèses :

La vie en oeuvre couvre l'ensemble des processus nécessaires pour une année de fonctionnement sur les places de stationnement équipées qu'empreintera le véhicule pendant sa durée de vie. Cette production sera représentée par la densité moyenne d'équipements par place de stationnement dans un parking équipé et leur fonctionnement pendant une année. Pour l'attribution on divise ces impacts par le flux annuel de véhicules utilisant ces équipements.

Hypothèses de fonctionnement selon les contextes :

- Les UBRs sont implantés indépendamment des capteurs de perception débarquée, afin d'assurer une bonne communication en tout point du parc de stationnement (hypothèse à valider)

Hypothèses de mutualisation selon les contextes :

- unités de bord de route – véhicules connectés

Le modèle de mutualisation s'appuie sur l'hypothèse que les UBRs fonctionnent en mode broadcast: l'énergie qu'ils consomment ne dépend pas de la quantité d'informations effectivement utiles qu'elles transmettent. Donc pour qu'un utilisateur potentiel puisse bénéficier d'une quantité quelconque d'informations utiles, les UBRs doivent fonctionner en permanence et transmettre des données en permanence. Donc diviser par les usagers potentiels est correct. Si les UBRs fonctionnaient en mode mono-cast leur consommation d'énergie serait différente et la mutualisation devrait prendre en compte la quantité de données effectivement consommées par chaque type de véhicules.

| Flux d'entrée | Quantité | Unité | Provider |
|---------------|--|-------|----------|
| RSU-use | $\text{DensRSUPark} / ((\text{MHTStationnement} * \text{PartVehConnectes} + \text{MHTServiceStationnement}) * 24 * 365)$ | a | RSU-use |

4.4.3.3 Cas d'usage

4.4.3.3.1 Production et fin de vie

Infra-Route-Prod et fin de vie

(veh.km) Contributions liées aux phases de fabrication et de fin de vie de la route et de la signalisation routière horizontale et verticale, attribuables à un veh.km du véhicule étudié, compte tenu de son usage effectif.

Remarque : dans le modèle actuel, il n'y a pas de modification entre le niveau « architecture » et le niveau « cas d'usage » car on néglige les différences en termes d'impact entre les infrastructures dans différents contextes de circulation.

| Flux d'entrée | Quantité | Unité | Provider |
|--------------------------|----------|-------|--------------------------|
| Route-Prod et fin de vie | 1.0 | v*km | Route-Prod et fin de vie |

Infra-Service-Prod et fin de vie

(veh.km) Contributions liées aux phases de fabrication et de fin de vie de l'ensemble des équipements de l'infrastructure liées au service (arrêts, dépôts, sites de remisage etc...), attribuables à un veh.km du véhicule étudié, compte tenu de son usage effectif.

Remarque : dans le modèle actuel, il n'y a pas de modification entre le niveau « architecture » et le niveau « cas d'usage » car il n'y a qu'une seule architecture d'équipements de service modélisée.

| Flux d'entrée | Quantité | Unité | Provider |
|----------------------------|----------|-------|----------------------------|
| Service-Prod et fin de vie | 1.0 | v*km | Service-Prod et fin de vie |

Infra-Geopositionnement-Prod et fin de vie

(veh.km) Contributions liées aux phases de fabrication et de fin de vie de l'ensemble des composants du système de géopositionnement, attribuables à un veh.km du véhicule étudié, compte tenu de son usage effectif, en particulier compte tenu des contextes de circulation.

| Flux d'entrée | Quantité | Unité | Provider |
|--|---------------|---------|--|
| Autoroute-Geopositionnement-Prod et fin de vie | PartAutoroute | v*km | Autoroute-Geopositionnement-Prod et fin de vie |
| Rural-Geopositionnement-Prod et fin de vie | PartRural | v*km | Rural-Geopositionnement-Prod et fin de vie |
| Stationnement-Geopositionnement-Prod et fin de vie | ParkingRate | Item(s) | Stationnement-Geopositionnement-Prod et fin de vie |
| Urbain-Geopositionnement-Prod et fin de vie | PartUrb | v*km | Urbain-Geopositionnement-Prod et fin de vie |

Infra-Perception débarquée-Prod et fin de vie

(veh.km) Contributions liées aux phases de fabrication et de fin de vie de l'ensemble des composants du système de perception débarquée, attribuables à un veh.km du véhicule étudié, compte tenu de son usage effectif, en particulier compte tenu des contextes de circulation.

| Flux d'entrée | Quantité | Unité | Provider |
|---|---------------|-------|---|
| Autoroute-Perception débarquée-Prod et fin de vie | PartAutoroute | v*km | Autoroute-Perception débarquée-Prod et fin de vie |
| Rural-Perception débarquée-Prod et fin de vie | PartRural | v*km | Rural-Perception débarquée-Prod et fin de vie |

| | | | |
|---|-------------|---------|---|
| Stationnement-Perception débarquée-Prod et fin de vie | ParkingRate | Item(s) | Stationnement-Perception débarquée-Prod et fin de vie |
| Urbain-Perception débarquée-Prod et fin de vie | PartUrb | v*km | Urbain-Perception débarquée-Prod et fin de vie |

Infra-Traitement données-Prod et fin de vie

(veh.km) Contributions liées aux phases de fabrication et de fin de vie de l'ensemble des composants du système de traitement des données issues des capteurs de perception débarquée, attribuables à un veh.km du véhicule étudié, compte tenu de son usage effectif, en particulier compte tenu des contextes de circulation.

| Flux d'entrée | Quantité | Unité | Provider |
|---|---------------|---------|---|
| Autoroute-Traitement données-Prod et fin de vie | PartAutoroute | v*km | Autoroute-Traitement données-Prod et fin de vie |
| Rural-Traitement données-Prod et fin de vie | PartRural | v*km | Rural-Traitement données-Prod et fin de vie |
| Stationnement-Traitement données-Prod et fin de vie | ParkingRate | Item(s) | Stationnement-Traitement données-Prod et fin de vie |
| Urbain-Traitement données-Prod et fin de vie | PartUrb | v*km | Urbain-Traitement données-Prod et fin de vie |

Infra-Telecom-Prod et fin de vie

(veh.km) Contributions liées aux phases de fabrication et de fin de vie de l'ensemble des composants du système de télécom, attribuables à un veh.km du véhicule étudié, compte tenu de son usage effectif, en particulier compte tenu des contextes de circulation.

| Flux d'entrée | Quantité | Unité | Provider |
|--|---------------|---------|--|
| Autoroute-Telecom-Prod et fin de vie | PartAutoroute | v*km | Autoroute-Telecom-Prod et fin de vie |
| Rural-Telecom-Prod et fin de vie | PartRural | v*km | Rural-Telecom-Prod et fin de vie |
| Stationnement-Telecom-Prod et fin de vie | ParkingRate | Item(s) | Stationnement-Telecom-Prod et fin de vie |
| Urbain-Telecom-Prod et fin de vie | PartUrb | v*km | Urbain-Telecom-Prod et fin de vie |

4.4.3.3.2 Vie en oeuvre

Infra-Route-Vie en oeuvre

(veh.km) Contributions liées à la phase de vie en oeuvre de la route et de la signalisation routière horizontale et verticale, attribuables à un veh.km du véhicule étudié, compte tenu de son usage effectif.

Remarque : dans le modèle actuel, il n'y a pas de modification entre le niveau « architecture » et le niveau « cas d'usage » car on néglige les différences en termes d'impacts entre les infrastructures dans différents contextes de circulation.

| Flux d'entrée | Quantité | Unité | Provider |
|---------------------|----------|-------|---------------------|
| Route-Vie en oeuvre | 1.0 | v*km | Route-Vie en oeuvre |

Infra-Service-Vie en oeuvre

(veh.km) Contributions liées à la phase de vie en oeuvre de l'ensemble des équipements de l'infrastructure liées au service (arrêts, dépôts, sites de remisage etc...), attribuables à un veh.km du véhicule étudié, compte tenu de son usage effectif.

Remarque : dans le modèle actuel, il n'y a pas de modification entre le niveau « architecture » et le niveau « cas d'usage » car il n'y a qu'une seule architecture d'équipements de service modélisée.

| Flux d'entrée | Quantité | Unité | Provider |
|-----------------------|----------|-------|-----------------------|
| Service-Vie en oeuvre | 1.0 | v*km | Service-Vie en oeuvre |

Infra-Geopositionnement-Vie en oeuvre

(veh.km) Contributions liées à la phase de vie en oeuvre de l'ensemble des composants du système de géopositionnement, attribuables à un veh.km du véhicule étudié, compte tenu de son usage effectif.

| Flux d'entrée | Quantité | Unité | Provider |
|---|---------------|---------|---|
| Autoroute-Geopositionnement-Vie en oeuvre | PartAutoroute | v*km | Autoroute-Geopositionnement-Vie en oeuvre |
| Rural-Geopositionnement-Vie en oeuvre | PartRural | v*km | Rural-Geopositionnement-Vie en oeuvre |
| Stationnement-Geopositionnement-Vie en oeuvre | ParkingRate | Item(s) | Stationnement-Geopositionnement-Vie en oeuvre |
| Urbain-Geopositionnement-Vie en oeuvre | PartUrb | v*km | Urbain-Geopositionnement-Vie en oeuvre |

Infra-Perception débarquée-Vie en oeuvre

(veh.km) Contributions liées à la phase de vie en oeuvre de l'ensemble des composants du système de perception débarquée, attribuables à un veh.km du véhicule étudié, compte tenu de son usage effectif.

| Flux d'entrée | Quantité | Unité | Provider |
|--|---------------|---------|--|
| Autoroute-Perception débarquée-Vie en oeuvre | PartAutoroute | v*km | Autoroute-Perception débarquée-Vie en oeuvre |
| Rural-Perception débarquée-Vie en oeuvre | PartRural | v*km | Rural-Perception débarquée-Vie en oeuvre |
| Stationnement-Perception débarquée-Vie en oeuvre | ParkingRate | Item(s) | Stationnement-Perception débarquée-Vie en oeuvre |
| Urbain-Perception débarquée-Vie en oeuvre | PartUrb | v*km | Urbain-Perception débarquée-Vie en oeuvre |

Infra-Traitement données-Vie en oeuvre

(veh.km) Contributions liées à la phase de vie en oeuvre de l'ensemble des composants du système de traitement des données issues des capteurs de perception débarquée, attribuables à un veh.km du véhicule étudié, compte tenu de son usage effectif.

| Flux d'entrée | Quantité | Unité | Provider |
|--|---------------|---------|--|
| Autoroute-Traitement données-Vie en oeuvre | PartAutoroute | v*km | Autoroute-Traitement données-Vie en oeuvre |
| Rural-Traitement données-Vie en oeuvre | PartRural | v*km | Rural-Traitement données-Vie en oeuvre |
| Stationnement-Traitement données-Vie en oeuvre | ParkingRate | Item(s) | Stationnement-Traitement données-Vie en oeuvre |
| Urbain-Traitement données-Vie en oeuvre | PartUrb | v*km | Urbain-Traitement données-Vie en oeuvre |

Infra-Telecom-Vie en oeuvre

(veh.km) Contributions liées à la phase de vie en oeuvre de l'ensemble des composants du système de télécom, attribuables à un veh.km du véhicule étudié, compte tenu de son usage effectif.

| Flux d'entrée | Quantité | Unité | Provider |
|---------------------------------|---------------|-------|---------------------------------|
| Autoroute-Telecom-Vie en oeuvre | PartAutoroute | v*km | Autoroute-Telecom-Vie en oeuvre |

| | | | |
|-------------------------------------|-------------|---------|-------------------------------------|
| Rural-Telecom-Vie en oeuvre | PartRural | v*km | Rural-Telecom-Vie en oeuvre |
| Stationnement-Telecom-Vie en oeuvre | ParkingRate | Item(s) | Stationnement-Telecom-Vie en oeuvre |
| Urbain-Telecom-Vie en oeuvre | PartUrb | v*km | Urbain-Telecom-Vie en oeuvre |

4.4.3.3.3 Data

Infra-Traitement données-Data

(veh.km) Contributions liées aux transferts de données des différentes sources de perception débarquée aux serveurs pour leur traitement et afin de rendre les informations traitées disponibles au véhicule automatisé. Les contributions comprennent l'énergie du réseau de transmission typiquement cellulaire, wifi ou de courte portée ainsi que data centers externalisés éventuels utilisés pour mettre à disposition ces données.

Inclure :

- V2I – informations trafic : Remonée depuis le véhicules d'informations trafic -> ok, représenté par DatakmCPMUL. Remarque : on fait l'hypothèse d'un hébergement des données ailleurs que sur CentrAgreg donc la consommation du serveur est comptabilisée ici (Data-Data Centre).
- V2V : Les véhicules peuvent partager des informations entre eux par le réseau de longue portée (cellulaire) via le cloud du gestionnaire de trafic ou autre fournisseur de ce service. -> ok, le cas échéant, quantité à inclure dans DatakmCPMUL. Remarque : on fait l'hypothèse d'un hébergement des données ailleurs que sur CentrAgreg donc la consommation du serveur est comptabilisée ici (Data-Data Centre).
- I2V - connectivité : Transfert des données d'état des feux ou des barrières connectées vers un serveur d'agrégation) -> ok, représenté par DataTempsCTLights (on fait l'hypothèse que l'agrégation est réalisée sur un serveur externalisé et non sur CentrAgreg)
- I2V – perception : Transfert de données brutes des capteurs vers le calculateur qui les traite puis transfert du calculateur vers l'agrégateur -> ok, fonctionnement différent selon le contexte (cf plus bas)

Différentes hypothèses de fonctionnement selon les contextes :

- Autoroutes : Les données brutes (DataTempsCamera) issues des caméras sont transmises par fibre vers CentrCalc puis les informations obtenues sont transmises à CentrAgreg (on ne représente pas ce transfert en supposant que ces serveurs se trouvent dans le même data centre) ; Les données brutes issues des LiDARs sont traités en local par RSCalculator (on ne représente pas ce transfert par câble) puis les informations obtenues (DataTempsTracking) sont transmises par fibre à CentrAgreg ;
- Urbain : Les données brutes issues des caméras et des LiDARs sont traités en local par RSCalculator (on ne représente pas ce transfert par câble) puis les informations traitées (DataTempsTracking) sont transférés par fibre au serveur Cloud de supervision.
- Rural ou périurbain : même fonctionnement qu'en urbain.-> mêmes limites
- Stationnement : on fait l'hypothèse que l'ensemble des transferts est réalisé sur un réseau local non modélisé ici.

Différents degrés de mutualisation des transferts de données sont pris pour hypothèse :

- I2V – connectivité : tout le trafic, quelque soit le contexte (la centralisation des données d'état des feux sert l'exploitation)
- V2I – informations trafic et V2V de longue portée: hypothèse la contribution de chaque véhicule connecté est identique et que ces informations servent l'ensemble des véhicules connectés -> cela revient à multiplier et diviser par la même quantité de trafic -> la formule a été simplifiée.
- Autoroute - I2V – perception : transfert de DataTempsCamera vers CentrCalc - tout le trafic lorsque les caméras et Lidars sont mutualisés (servent l'exploitation), les véhicules connectés uniquement sinon ; transfert de DataTempsTracking vers CentrAgreg – véhicules connectés uniquement.
- Urbain – I2V – perception : transfert de DataTempsTracking vers le serveur de supervision – véhicules connectés si les caméras et LiDARs sont mutualisés avec tout le trafic (RSCameraMut ou RSLiDARMut=1), au service autonome sinon ;
- Rural ou périurbain – I2V – perception : mêmes hypothèses qu'en Urbain.

| Flux d'entrée | Quantité | Unit é | Provider |
|------------------|---|---------------|------------------|
| Data-Cellular | DatakmpMUL | Item (s) (Go) | Data-Cellular |
| Data-Data Centre | DatakmpMUL | Item (s) (Go) | Data-Data Centre |
| Data-Network | $\text{PartAutoroute} * (\text{DensLinRSLiDARAutoroute} * \text{DataTempsTracking}) / ((\text{MHTAutoroute} * \text{PartVehConnectes} + \text{MHTServiceAutoroute}))$ | Item (s) (Go) | Data-Network |
| Data-Network | $\text{PartAutoroute} * (\text{DensLinCTLightsAutoroute} * \text{DataTempsCTLights}) / ((\text{MHTAutoroute} + \text{MHTServiceAutoroute})) + \text{PartUrb} * (\text{DensLinCTLightsUrb} * \text{DataTempsCTLights}) / ((\text{MHTUrb} + \text{MHTServiceUrb})) + \text{PartRural} * (\text{DensLinCTLightsRural} * \text{DataTempsCTLights}) / ((\text{MHTRural} + \text{MHTServiceRural}))$ | Item (s) (Go) | Data-Network |
| Data-Network | $\text{PartAutoroute} * (\text{DensLinRSCameraAutoroute} * \text{DataTempsCamera}) / ((\text{MHTAutoroute} * (1 - \text{PartVehConnectes}) * \text{RSCameraMut} + \text{MHTAutoroute} * \text{PartVehConnectes} + \text{MHTServiceAutoroute}))$ | Item (s) (Go) | Data-Network |
| Data-Network | DatakmpMUL | Item (s) (Go) | Data-Network |
| Data-Data Centre | $\text{PartAutoroute} * (\text{DensLinCTLightsAutoroute} * \text{DataTempsCTLights}) / ((\text{MHTAutoroute} + \text{MHTServiceAutoroute})) + \text{PartUrb} * (\text{DensLinCTLightsUrb} * \text{DataTempsCTLights}) / ((\text{MHTUrb} + \text{MHTServiceUrb})) + \text{PartRural} * (\text{DensLinCTLightsRural} * \text{DataTempsCTLights}) / ((\text{MHTRural} + \text{MHTServiceRural}))$ | Item (s) (Go) | Data-Data Centre |
| Data-Network | $\text{PartUrb} * (\text{DensLinRSLiDARUrb} * \text{DataTempsTracking}) / ((\text{MHTUrb} * \text{PartVehConnectes} * \text{RSLiDARMut} + \text{MHTServiceUrb})) + \text{PartUrb} * (\text{DensLinRSCameraUrb} * \text{DataTempsTracking}) / ((\text{MHTUrb} * \text{PartVehConnectes} * \text{RSCameraMut} + \text{MHTServiceUrb})) + \text{PartRural} * (\text{DensLinRSLiDARRural} * \text{DataTempsTracking}) / ((\text{MHTRural} * \text{PartVehConnectes} * \text{RSLiDARMut} + \text{MHTServiceRural})) + \text{PartRural} * (\text{DensLinRSCameraRural} * \text{DataTempsTracking}) / ((\text{MHTRural} * \text{PartVehConnectes} * \text{RSCameraMut} + \text{MHTServiceRural}))$ | Item (s) (Go) | Data-Network |
| Data-Data Centre | $\text{PartUrb} * (\text{DensLinRSLiDARUrb} * \text{DataTempsTracking}) / ((\text{MHTUrb} * \text{PartVehConnectes} * \text{RSLiDARMut} + \text{MHTServiceUrb})) + \text{PartUrb} * (\text{DensLinRSCameraUrb} * \text{DataTempsTracking}) / ((\text{MHTUrb} * \text{PartVehConnectes} * \text{RSCameraMut} + \text{MHTServiceUrb})) + \text{PartRural} * (\text{DensLinRSLiDARRural} * \text{DataTempsTracking}) / ((\text{MHTRural} * \text{PartVehConnectes} * \text{RSLiDARMut} + \text{MHTServiceRural})) + \text{PartRural} * (\text{DensLinRSCameraRural} * \text{DataTempsTracking}) / ((\text{MHTRural} * \text{PartVehConnectes} * \text{RSCameraMut} + \text{MHTServiceRural}))$ | Item (s) (Go) | Data-Data Centre |

| | | | |
|--|---|--|--|
| | $*(DensLinRSCameraRural * DataTempsTracking) / ((MHTRural * PartVehConnectes * RSCameraMut + MHTServiceRural))$ | | |
|--|---|--|--|

Infra-Telecom-Data

(veh.km) Contributions liées à la réception des données des unités de bord de route avant diffusion aux véhicules. Les contributions comprennent l'énergie du réseau de transmission typiquement cellulaire, wifi ou de courte portée ainsi que data centers externalisés éventuels utilisés pour mettre à disposition ces données.

Inclure :

- Vérification du PKI nécessaire pour établir une communication de confiance avec le véhicule -> ok, pourrait être simplifié.
- Lorsque le traitement des données brutes des capteurs de perception débarquée est réalisé en central, réception des informations (Tracking lists) par les UBRs avant diffusion au véhicules -> ok, valable pour le contexte autoroutier uniquement.

Différentes hypothèses de fonctionnement et de mutualisation :

- Validation du PKI : Le véhicule envoie à l'UBR son PKI; l'UBR l'envoie (câble/fibre ou cellulaire) au serveur (cloud); le serveur renvoie à l'UBR (câble ou fibre/cellulaire) la réponse concernant la validité du certificat). Et on fera l'hypothèse qu'une partie seulement des UBRs est raccordée par câble/fibre à internet. On prend en compte l'énergie consommée par le réseau dans un sens et dans l'autre (câble/fibre ou cellulaire) et le cloud mais l'énergie de l'UBR et de l'OBU est déjà prise en compte ailleurs. On fait l'hypothèse que le PKI est validé à chaque fois que le véhicule croise un UBR.
- Dans le contexte autoroutier, les informations issues des caméras (DataTempsTracking) est transmis par fibre/câble aux UBR avant diffusion. On fait l'hypothèse que ce transfert est mutualisé par tout le trafic de véhicules connectés.
- Dans le contexte des parcs de stationnement, on ne représente pas les transferts de données locaux.

| Flux d'entrée | Quantité | Unité | Provider |
|------------------|--|------------------|------------------|
| Data-Cellular | $PartAutoroute * (DensLinRSUAutoroute * (1 - PartRSUFibre) * DataTempsTracking) / ((MHTAutoroute * PartVehConnectes + MHTServiceAutoroute))$ | Ite m(s)) | Data-Cellular |
| Data-Cellular | $TaillePKI * DensLinUBRTot * 2 * (1 - PartRSUFibre)$ | Ite m(s)) | Data-Cellular |
| Data-Data Centre | $TaillePKI * DensLinUBRTot$ | Ite m(s)) | Data-Data Centre |
| Data-Network | $TaillePKI * DensLinUBRTot * 2$ | Ite m(s)) | Data-Network |
| Data-Network | $PartAutoroute * (DensLinRSUAutoroute * DataTempsTracking) / ((MHTAutoroute * PartVehConnectes + MHTServiceAutoroute))$ | Ite m(s)) | Data-Network |

4.4.3.4 Processus pour l'agrégation des résultats

Infrastructure-Route

(veh.km) Agrégation des contributions des phases de production et fin de vie et de la vie en œuvre.

| Flux d'entrée | Quantité | Unité | Provider |
|--------------------------------|----------|----------|--------------------------------|
| Infra-Route-Prod et fin de vie | 1.0 | Items*km | Infra-Route-Prod et fin de vie |
| Infra-Route-Vie en oeuvre | 1.0 | Items*km | Infra-Route-Vie en oeuvre |

Infrastructure-Service

(veh.km) Agrégation des contributions des phases de production et fin de vie et de la vie en œuvre.

| Flux d'entrée | Quantité | Unité | Provider |
|----------------------------------|----------|----------|----------------------------------|
| Infra-Service-Prod et fin de vie | 1.0 | Items*km | Infra-Service-Prod et fin de vie |
| Infra-Service-Vie en oeuvre | 1.0 | Items*km | Infra-Service-Vie en oeuvre |

Infrastructure-Geopositionnement

(veh.km) Agrégation des contributions des phases de production et fin de vie et de la vie en œuvre.

| Flux d'entrée | Quantité | Unité | Provider |
|--|----------|----------|--|
| Infra-Geopositionnement-Prod et fin de vie | 1.0 | Items*km | Infra-Geopositionnement-Prod et fin de vie |
| Infra-Geopositionnement-Vie en oeuvre | 1.0 | Items*km | Infra-Geopositionnement-Vie en oeuvre |

Infrastructure-Perception débarquée

(veh.km) Agrégation des contributions des phases de production et fin de vie et de la vie en œuvre.

| Flux d'entrée | Quantité | Unité | Provider |
|---|----------|----------|---|
| Infra-Perception débarquée-Prod et fin de vie | 1.0 | Items*km | Infra-Perception débarquée-Prod et fin de vie |
| Infra-Perception débarquée-Vie en oeuvre | 1.0 | Items*km | Infra-Perception débarquée-Vie en oeuvre |

Infrastructure-Traitement données

(veh.km) Agrégation des contributions des phases de production et fin de vie, de la vie en œuvre et celles de la consommation de data.

| Flux d'entrée | Quantité | Unité | Provider |
|---|----------|----------|---|
| Infra-Traitement données-Data | 1.0 | Items*km | Infra-Traitement données-Data |
| Infra-Traitement données-Prod et fin de vie | 1.0 | Items*km | Infra-Traitement données-Prod et fin de vie |
| Infra-Traitement données-Vie en oeuvre | 1.0 | Items*km | Infra-Traitement données-Vie en oeuvre |

Infrastructure-Telecom

(veh.km) Agrégation des contributions des phases de production et fin de vie, de la vie en œuvre et celles de la consommation de data.

| Flux d'entrée | Quantité | Unité | Provider |
|----------------------------------|----------|----------|----------------------------------|
| Infra-Telecom-Data | 1.0 | Items*km | Infra-Telecom-Data |
| Infra-Telecom-Prod et fin de vie | 1.0 | Items*km | Infra-Telecom-Prod et fin de vie |
| Infra-Telecom-Vie en oeuvre | 1.0 | Items*km | Infra-Telecom-Vie en oeuvre |

Infrastructure

(veh.km) Ensemble des contributions des différents systèmes techniques embarqués sur le véhicule au sein d'un mode automatisé.

Doit inclure:

- Route
- Service
- Géopositionnement
- Perception
- Traitement données
- Telecom

| Flux d'entrée | Quantité | Unité | Provider |
|-------------------------------------|----------|----------|-------------------------------------|
| Infrastructure-Geopositionnement | 1.0 | Items*km | Infrastructure-Geopositionnement |
| Infrastructure-Perception débarquée | 1.0 | Items*km | Infrastructure-Perception débarquée |
| Infrastructure-Route | 1.0 | Items*km | Infrastructure-Route |
| Infrastructure-Service | 1.0 | Items*km | Infrastructure-Service |
| Infrastructure-Telecom | 1.0 | Items*km | Infrastructure-Telecom |
| Infrastructure-Traitement données | 1.0 | Items*km | Infrastructure-Traitement données |

Mode-Autonome

(veh.km) Synthèse de l'ensemble des contributions sur l'ensemble du cycle de vie de tous les systèmes impliqués dans la mobilité autonome. Ce sont les impacts produits par la mobilité autonome (effets directs).

Doit inclure:

- Véhicule
- Infrastructure
- Supervision

Limites de modélisation:

- L'efficacité de l'autonomie n'a pas encore été traitée - il faut ajouter un processus en mode manuel, le rajouter aux systèmes techniques et intégrer l'efficacité du mode autonome.

| Flux d'entrée | Quantité | Unité | Provider |
|----------------|----------|----------|----------------|
| Infrastructure | 1.0 | Items*km | Infrastructure |
| Supervision | 1.0 | Items*km | Supervision |
| Vehicule | 1.0 | Items*km | Vehicule |

5 Conclusions et perspectives

5.1 Conclusions

Ce rapport présente la méthodologie développée pour l'évaluation par analyse de cycle de vie de la mobilité automatisée actuelle et dans sa mise à l'échelle. La méthodologie développée s'appuie sur

un modèle générique permettant de traiter dans un cadre cohérent une diversité de systèmes techniques actuels et futurs de la mobilité automatisée.

L'instantiation du modèle pour l'évaluation de la mobilité automatisée dans sa mise à l'échelle nécessite la collecte de nombreuses données concernant ses systèmes techniques. Pour cela des scénarios de déploiement à l'échelle et la caractérisation des systèmes techniques associés sont nécessaires. Le LVMT a développé une méthode de « passage à l'échelle » qui a été mise en œuvre dans le projet SAM. Les résultats de cette mise en application, scénarios et données récoltées, sont également présentés dans ce rapport *(Note : ces éléments sont retirés de la version provisoire du rapport public en attente d'accord des partenaires industriels).*

5.2 Pistes de travaux futurs

La méthode, le modèle générique et les données récoltées constituent les éléments nécessaires pour l'évaluation de la mobilité automatisée scénarisée. De futurs travaux pourraient être consacrés à l'instantiation du modèle (contextualisation et implémentation des paramètres récoltés) afin d'identifier les principales sources de consommation d'énergie primaire des systèmes techniques imaginés puis à l'étude de sensibilité aux paramètres afin d'estimer l'incertitude des résultats. Des options technologiques, notamment dans le choix du type de traitement local ou centralisé des données de supervision et de perception débarquée pourraient ainsi être intégrées dans la gamme d'incertitude. En effet, ces deux options sont actuellement envisagées et se traduisent dans des arbitrages entre l'impact du transfert de données et la consommation des équipements locaux (et le poids de la batterie associée pour les équipements embarqués). Enfin l'exploration d'indicateurs environnementaux complémentaires à la consommation d'énergie primaire pourraient être mise en place.

Les sources d'amélioration du modèle ont également été identifiées tout au long du rapport et des travaux futurs pourraient y être consacrés. En particulier la modélisation de la consommation énergétique et les impacts environnementaux associés pour le transfert et la gestion des données peut être approfondie, notamment en ce qui concerne les performances énergétiques des data centres externalisés (ainsi que leur mix électrique spécifique) et l'évolution future des réseaux de télécommunication. De même, les effets de l'automatisation sur la consommation de roulage et de climatisation du véhicule n'ont pas été intégrés.

5.3 Perspectives

Les travaux présentés dans ce rapport, à savoir l'évaluation par analyse de cycle de vie des systèmes techniques de la mobilité automatisée dans leur ensemble (embarqués et débarqués), ouvrent des perspectives sur le développement de méthodologies d'évaluation par ACV des solutions de mobilité automatisée (véhicules particuliers et services de mobilité). En effet l'ACV des solutions de mobilité vise à établir un bilan environnemental avant-après l'introduction d'une solution de mobilité automatisée et de comparer des variantes (automatisées ou non). Ce bilan comprend les impacts produits (en outre, par ses systèmes techniques) et les impacts évités grâce à son déploiement (changement de comportement, report modal). L'ACV des systèmes techniques permet donc de préciser les impacts produits par les solutions de mobilité automatisée.

La méthodologie d'ACV des solutions de mobilité devra permettre de contextualiser les effets de la mobilité automatisée et interpréter ces effets au prisme de l'ACV :

- En tenant compte d'un contexte local spécifique, en premier lieu d'un écosystème de mobilité particulier (services de transport public, privés et mobilité personnelle), caractérisé par un partage modal (mix modal) des déplacements ;

- En s'appuyant sur des études transport (par exemple modélisation/simulation offre-demande des services) afin d'identifier les effets systémiques du déploiement de la mobilité automatisée (par exemple report modal, variation de la demande de déplacements, ...) ;
- En traduisant ces effets systémiques au niveau des différentes phases de cycle de vie. Par exemple le report modal - en phase d'usage des véhicules, la dépossession éventuelle de véhicules - en phase de fabrication, etc.

Le développement de ces méthodologies nécessite un couplage entre l'approche ACV et les études transport pouvant procéder a minima par le partage de scénarios cohérents de services, leurs effets et leurs systèmes techniques supports.

6 Bibliographie

[Mora2020] Luca Mora, Xinyi Wu, Anastasia Panori, "Mind the gap: Developments in autonomous driving research and the sustainability challenge", *Journal of Cleaner Production*, Volume 275, 2020

[Wadud2016] Zia Wadud, Don MacKenzie, Paul Leiby, "Help or hindrance? The travel, energy and carbon impacts of highly automated vehicles", *Transportation Research Part A: Policy and Practice*, Volume 86, 2016

[Gawron2018] James H. Gawron, Gregory A. Keoleian, Robert D. De Kleine, Timothy J. Wallington, and Hyung Chul Kim, "Life Cycle Assessment of Connected and Automated Vehicles: Sensing and Computing Subsystem and Vehicle Level Effects", *Environmental Science & Technology*, Volume 52, 2018

[Chester2009] Mikhail V Chester and Arpad Horvath, "Environmental assessment of passenger transportation should include infrastructure and supply chains", *Environmental Research Letters*, Volume 4, 2009

[Lin2018] Shih-Chieh Lin, Yunqi Zhang, Chang-Hong Hsu, Matt Skach Md E. Haque, Lingjia Tang, Jason Mars, "The Architectural Implications of Autonomous Driving: Constraints and Acceleration", *ASPLOS'18*, March 24–28, 2018, Williamsburg, VA, USA

[Huber2022] Dominik Huber, Tobias Viere, Eliane Horschutz Nemoto, Ines Jaroudi, Dorien Korbee, Guy Fournier, "Climate and environmental impacts of automated minibuses in future public transportation", *Transportation Research Part D: Transport and Environment*, Volume 102, 2022

[Heinrich2017] Stephan Heinrich, "Flash Memory in the emerging age of Autonomy", *Flash Memory Summit 2017*, Santa Clara, CA

[CISCO2019] Joel Obstfeld and Mark Grayson, "The Driven Hour. It's time to get more realistic about Connected Cars and the volume of data that they will generate.", *White paper*, Cisco, 2019

[USDOT2017] Frank Perry, Kelli Raboy, Ed Leslie, Zhitong Huang, Drew Van Duren, "Dedicated Short Range Communications Roadside Unit Specifications", *Technical Report*, 2017

[CEET2013] Centre for Energy-Efficient Telecommunications, "The Power of wireless Cloud. An analysis of the impact on energy consumption of the growing popularity of accessing cloud services via wireless devices", *White Paper*, CEET, 2013