



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-03827916v2

HAL Id: hal-03827916

<https://hal.science/hal-03827916v2>

Submitted on 13 Dec 2022

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 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

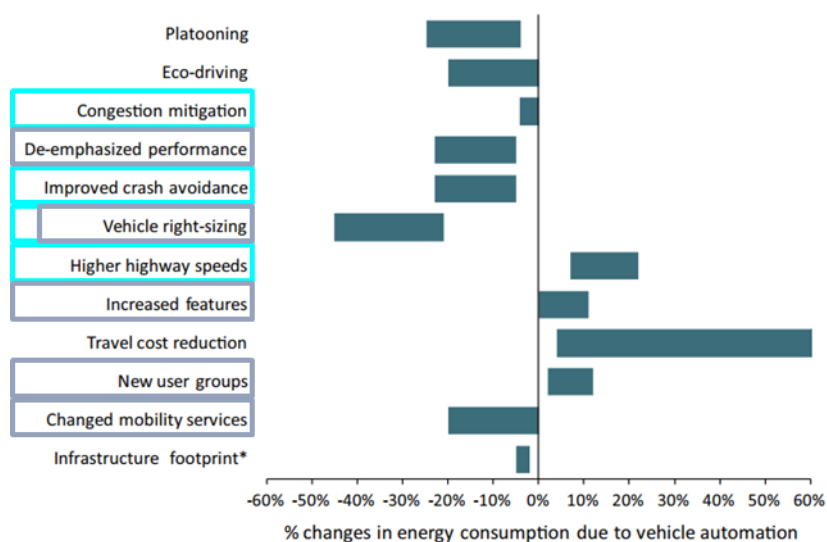
Les recherches présentées dans ce rapport ont été financées par l'ADEME dans le cadre du projet SAM - Sécurité et Acceptabilité de la conduite et de la Mobilité autonome. Ce projet réunit un consortium d'acteurs industriels, de la recherche et de partenaires territoriaux, en réponse à l'Appel à Projets 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.

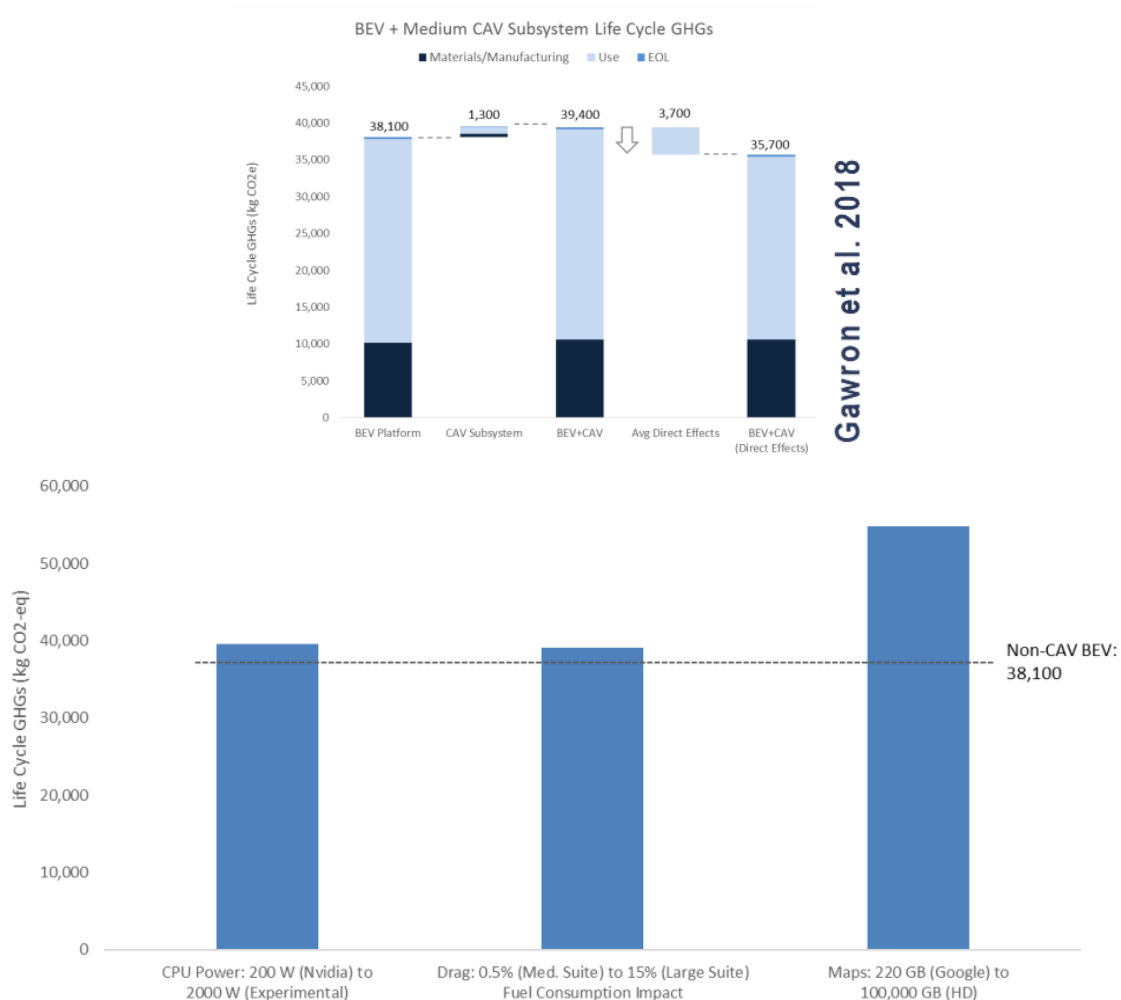
1.2.2 Analyse de cycle de vie de la mobilité routière automatisée

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.

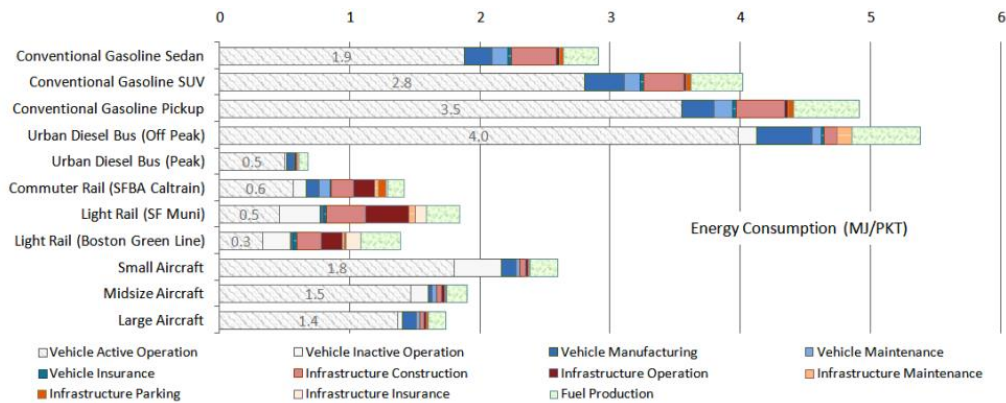
Il s'agit d'une méthode multi-critère couvrant les consommations énergétiques et les émissions de gaz à effets de serre mais permettant aussi d'évaluer des indicateurs complémentaires comme l'épuisement de ressources rares, la formation de particules fines ou les impacts sur la biodiversité ou la santé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

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 :

- Un problème de coût de la technologie vs les coûts des salaires des conducteurs pour les véhicules conventionnels. Les véhicules automatisés actuels coûtent trop cher (technologie et licence), il n'y a pas de modèle d'exploitation rentable actuellement, même si le véhicule automatisé permettra d'enlever les coûts liés aux conducteurs. Pour les voitures privées, le prix prévisionnel de ces fonctions restera très élevé donc elles seront réservées à des revenus élevés (plusieurs milliers d'euros la fonction), des véhicules haut de gamme et connaîtront donc un déploiement faible.

- Il s'agit actuellement de démontrer la sécurité et la possibilité technologique de roulage sans safety driver. Seulement après on pourra envisager des déploiements rentables. Les usages ne sont pas traités pour l'instant, ils seront traités dans un second temps. L'objectif de démonstration de la sécurité est majeur. Tant qu'elle n'est pas démontrée, les collectivités n'investiront pas dans l'équipement de l'infrastructure. Cependant, il y a des difficultés de validation de la sécurité : quelques soient les situations de roulage (pluie, nuit, PMR, VRU) il faut atteindre 10^{-9} de sécurité. Pour cela il faut des outils et des procédures, en particulier des outils de simulation sont nécessaires pour compléter les roulages. De plus la validation doit être réalisée pour l'ensemble du système technique : véhicule + infrastructure + supervision.

- Problème de standardisation alors que les technologies sont en cours de développement. En accord avec la stratégie nationale, les différentes technologies non standard pourront d'abord être testées sur des sites maîtrisés et à faibles vitesses avant qu'on puisse déployer des véhicules sur routes ouvertes.

- Problème de capacité de roulage à des vitesses élevées, en particulier en trafic mixte avec des conducteurs humains. Il y a un aspect critique sur la capacité de la perception à détecter les objets suffisamment rapidement.

- Freins juridiques et règlementaires. Les cas effectivement prévus par la réglementation et décrits sont limités. Il y a une incertitude sur l'horizon temporel et les conditions dans lesquelles sera autorisé le roulage sans safety driver. Les procédures que les administrations devront mettre en œuvre pour l'homologation des véhicules automatisés ne sont pas définies actuellement.

- Le passage au L3 et plus implique un changement de responsabilité de conduite, ce qui nécessitera des procédures pour démontrer et vérifier la responsabilité du conducteur et du système en cas d'incident.

- Comme pour l'ensemble de l'écosystème de la mobilité, les contextes de crises (de financement public par exemple) et d'évolution des pratiques (généralisation du télé-travail par exemple) sont susceptibles d'introduire de l'incertitude dans l'horizon temporel du déploiement à l'échelle de la mobilité automatisée.

- Incertitude sur les rythmes possibles d'Investissements et de déploiement d'infrastructure connectée et la remise aux normes de l'infrastructure passive.

2.2.2.3 Caractéristiques générales des systèmes techniques cibles

2.2.2.3.1 Niveau d'automatisation

L'objectif est le L4 sans safety driver pour les services de mobilité. Dans ce niveau le véhicule est capable de se garer tout seul s'il sort de l'ODD. Pour les véhicules particuliers – L3.

Le niveau 5 n'est pas encore de l'ordre du possible (on ne sait pas dire comment le véhicule doit gérer l'imprévu).

2.2.2.3.2 Niveau de performance du véhicule

L'objectif est d'atteindre dans la mise à l'échelle, une vitesse maximale de 20 km/h pour les navettes urbaines (vitesse commerciale de 15-20 km/h) et jusqu'à 60-70 km/h pour les véhicules légers, de démontrer un niveau de sécurité à 10^{-9} et d'augmenter la fiabilité et la fluidité des plate-formes et de leur asservissement (moins de pannes, moins d'arrêts inutiles, moins d'à-coups). L'objectif est d'atteindre un niveau équivalent au véhicule non autonome.

2.2.2.3.3 Contexte de déploiement

Le déploiement sera plus aisé en contexte urbain dense. Mais les bénéfices attendus en termes de réduction des coûts et d'augmentation de la disponibilité du service (temporelle et géographique) sont plus importants dans les zones peu denses.

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). Le service permettra de se déplacer quasiment du point d'origine du déplacement à quasiment la destination du déplacement. On imagine des véhicules taxi 4 places passagers ainsi que des vans 6 places passagers. Ce cas n'est pas encore décrit dans la réglementation mais pour être réalisé le véhicule devra rouler sur d'autres voies que des voies à chaussées séparées. L'hypothèse privilégiée est celle de déplacements partagés type uber-pool, service partagé, fonctionnant en complémentarité géographique ou temporelle avec les TC (capillarité plus importante, déploiement en zones moins denses, service en heures creuses ou en horaires étendus). Un deuxième cas d'usage, proche, est un service de rabattement vers les TC. Le troisième est un fonctionnement sur un itinéraire pré-établi avec des stations à l'origine et à la destination (équivalent à une navette à la demande) permettant d'assurer une desserte entre pôles (déplacement structurant – boucle principale).

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 ». Il est possible que le cas d'usage envisagé soit uniquement de niveau L3 et sur autoroutes car c'est actuellement le seul cas décrit dans la réglementation (conditions très contraintes : dans les embouteillages, voies à chaussées séparées, <60km/h, ...). L'utilisateur peut choisir de l'activer ou non dans les zones éligibles. Vu le prix prévisionnel des fonctions, ça sera réservé à des revenus élevés, véhicules haut de gamme.

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. L'autopartage est déjà rentable, pour les véhicules conventionnels, dans les zones denses. Si l'automatisation s'accompagne d'une réduction de coûts, cela pourrait rendre le service viable économiquement dans les zones moins denses. Dans les deux cas, l'occupation du véhicule est faible. L'usage est similaire à celui de la voiture particulière – on peut aller quasiment directement du point de départ jusqu'à la destination du déplacement.

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. Autre usage de transport à la demande sur ligne, les itinéraires et les arrêts sont fixes et ne peuvent pas évoluer librement à la demande. En levant ces contraintes techniques le TAD deviendrait réellement porte-à-porte sur une zone donnée.

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).

Pour le véhicule léger, les constructeurs adaptent un véhicule homologué en prototype, contrairement aux navettistes qui conçoivent un véhicule ad hoc. Contre-exemple : SFM qui conçoit une navette à partir d'un véhicule homologué. Exemple de développeurs de TechAD pour les véhicules légers (plusieurs tailles – « petit véhicule » de 4 places passagers et Vans de 5--6 places passagers) : Renault, Stellantis (PSA). Pour les navettes : Navya (ex : Autonom Shuttle Gen 2), EasyMile (ex : EZ10) (intervient dans la spécification, constructeur Ligier), Transdev (intervient sur la conception de la plate-forme Lohr iCristal).

Motorisation.

L'hypothèse principale pour la motorisation est celle d'une motorisation électrique. Les constructeurs constatent qu'il est plus simple de travailler avec la motorisation électrique qui facilite le contrôle, l'asservissement et est plus adaptée pour les gammes de vitesses faibles.

Cependant d'autres motorisations sont possibles pour les navettes comme pour les véhicules légers, en particulier pour des vitesses plus élevées. Il n'y a pas de plate-formes hydrogènes actuellement disponibles pour les navettes. Pour des vitesses élevées (hors contexte urbain), la motorisation thermique est envisageable pour les navettes. En dehors des usages urbains, des motorisations thermiques ou hybrides sont plus probables pour les véhicules légers.

Batterie.

Pour la motorisation électrique, la taille de la batterie dépendra de l'autonomie à atteindre. Pour un véhicule automatisé, par rapport au véhicule électrique conventionnel, il faudrait une batterie en plus ou alors une batterie de taille plus importante car il y a des consommations supplémentaires et il faut maintenir une certaine autonomie.

Actuellement la Pologne et la Corée sont les pays producteurs de batteries mais la filière de fabrication française pourrait se développer d'ici 2030.

Au cours de sa vie, la capacité de la batterie diminue. On considère qu'à 75% d'autonomie restante ce n'est plus la peine de la laisser en roulage et la batterie est remplacée. Une batterie reste en roulage entre 150 000 et 200 000 km. La mort subite de la batterie arrive bien plus tard. Les batteries usées peuvent avoir une seconde vie. A l'inverse, les constructeurs constituent des stocks de batteries pour assurer les pièces de rechange pendant 10 ans après la fin de la commercialisation. Si ce stock travaille avant son utilisation dans les véhicules, c'est le roulage du véhicule qui constitue sa seconde vie (mais les batteries déjà utilisées ont un poids plus important pour une même autonomie).

Actionneurs.

Pour permettre l'automatisation, il est nécessaire de créer de la redondance dans les actionneurs : freinage, direction, accélération. Ils sont déjà robotisés mais il est nécessaire de les doubler partiellement. Au premier ordre, cela consiste à doubler la quantité de manière mais non la consommation (courant de veille, négligeable).

Ce n'est pas actuellement le cas dans les XPs car le safety driver assure la sécurité. Cependant il nécessite un système de contrôle manuel du véhicule. A priori pour le déploiement cible on se projette dans le L4 donc sans safety driver. La direction est doublée (environ 1 kg en plus), le freinage est doublé (4-5 kg en plus), l'accélération ne nécessite rien de plus. Des câbles supplémentaires sont nécessaires pour connecter ces éléments.

Intégration des capteurs.

L'intégration des capteurs joue sur le freinage aérodynamique aux vitesses élevées et donc sur la consommation énergétique. Contrairement aux navettes, il n'y a généralement pas d'intégration des capteurs dans le design des véhicules légers actuellement car il y a peu de place dans les véhicules particuliers (zone de déformation du véhicule en cas d'accident) et les équipements de sécurité (airbags) occupent l'espace disponible.

Consommation énergétique.

La consommation énergétique (pour les impacts et projections dans le temps, voir IEA et JRC) varie selon la vitesse (cf cycles WLTP), le contexte et les systèmes en marche. En contexte urbain dense, les arrêts sont plus fréquents et plus rapprochés – la vitesse est faible et varie beaucoup, à l'inverse en milieu peu dense la vitesse est plus élevée et stable. L'utilisation de la climatisation ou du chauffage peut faire varier la consommation avec un facteur de 1 à 3.

Les composants du système d'automatisation consomment de l'électricité (de l'ordre de 40% en plus actuellement), chauffent (ce qui modifie les besoins de chauffage et de climatisation) et, si les capteurs « dépassent » peuvent créer du freinage aérodynamique aux vitesses élevées (a priori pas pour les usages urbains).

Modes de recharge.

Les modalités de recharge dépendent du cas d'usage (puissance, horaires, lieux, technologie adaptée).

Par exemple, la recharge par induction sur des positions de stand-by et l'utilisation d'un algorithme d'optimisation pour l'envoi de véhicules est à l'étude pour des déploiements futurs.

Maintenance et remplacement.

Durée de vie du véhicule 200 000 km a priori, et la batterie bien plus longtemps donc il n'y a pas de remplacement de la batterie en cours de la durée de vie du véhicule a priori. Le moteur électrique est plus durable que le moteur thermique. Et les échanges et réparations sont plus faciles.

Maintenance selon les préconisations des constructeurs : vidange tous les X km, changement de plaquettes de freins tous les Y km, pneus, gaz de clim, filtre à huile...

D'autre part en roulage, les fuites des gaz de climatisation constituent une source d'impacts environnementaux importants (avec fuite d'un équivalent d'une recharge de gaz de clim pendant la durée de vie).

Durée de vie.

La construction des plate-formes est assez mature, leur durée de vie est plus longue que celle de l'architecture de perception par exemple (limitée par l'obsolescence) et encore plus que celle des capteurs individuels (actuellement peu fiables).

Actuellement la durée de vie totale du VA est de 3-4 ans, 4,5 ans maximum principalement à cause de l'obsolescence technologique. Il faut se projeter dans la mise à l'échelle, quitte à distinguer la durée de vie de la plate-forme de celle de l'architecture de perception actuellement limitante. Car 4,5 ans n'est pas raisonnable pour un opérateur.

La durée de vie pour l'électrique est de 200 000km maximum (peut-être 300 000), limité par les sièges.

Fin de vie.

Actuellement on ne dispose pas de retours sur la fin de vie des plate-formes de navettes automatisées ou du véhicule autonome en entier. Actuellement lorsque l'obsolescence des navettes prototypes est atteinte, le véhicule automatisé en entier ou la plate-forme seule est revendu pour d'autres sites d'utilisation.

Pour les véhicules légers, il y a une seconde vie pour la batterie. Puis, en fin de vie une partie est recyclée. Il y a une directive sur le recyclage des batteries (jusqu'à 50% des matières mais une nouvelle directive plus exigeante sur le taux de recyclage est en cours de préparation).

En dehors des batteries, le reste de la plate-forme part à la casse. Une petite portion est démontée (démanteleurs) pour être réutilisée, recyclée (recyclage). Une partie est dépolluée. Traitement de la fin de vie selon les statistiques établies par l'observatoire des VHU en France (ADEME) mais peu de connaissances sur les traitements de fin de vie dans les autres pays (notamment pour la seconde vie). Châssis peut-être sur un autre usage.

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. La localisation est réalisée avec une précision centimétrique permettant de garder le véhicule dans sa voie précisément (GPS+RTK) au sein d'une cartographie initiale HD.

Pour cela plusieurs équipements sont installés sur le véhicule. Un récepteur GPS standard est systématiquement présent. La localisation est centimétrique, faisant appel au GNSS : les 4 constellations GPS/Galileo/Glonass /Beidou) sont mobilisées et une correction de la position reçue par cellulaire (RTK).

En cas de perte de signal cellulaire ou radio (perte de correction RTK) la centrale inertielle permet d'estimer la position du véhicule. Elle prend le relais et assure la redondance de l'information de localisation mais ne suffit pas (dérive progressive). Elle est systématiquement présente dans le véhicule. De même que la centrale inertielle, l'odomètre, systématiquement présent sur les véhicules permet de prendre le relais des corrections RTK ponctuellement et d'assurer la redondance de l'information de localisation.

Certaines solutions technologiques diffèrent d'un système technique de la mobilité automatisée à un autre. Par exemple les LiDARs du système de perception des navettes sont également utilisés pour reconnaître l'environnement et se positionner dans une carte 3D HD (ils ne sont pas actuellement utilisés pour les véhicules légers). A l'inverse pour les véhicules légers, en cas de perte de signal, le relais de la fonction de localisation est assuré grâce à la reconnaissance des voies par caméra. D'autres technologies sont en cours de développement pour le suivi des lignes qui permettraient de s'affranchir de la cartographie HD. Certains environnements (urbains denses avec beaucoup de bâtiments) posent plus de difficultés pour le signal GNSS avec des pertes fréquentes de signal et des réflexions multiples rendant l'interprétation difficile.

En cas d'impossibilité à se localiser précisément, le véhicule nécessite une reprise en main manuelle (sortie de l'ODD).

Cartographie initiale.

La cartographie initiale (2D ou 3D HD) possède une précision centimétrique et est sémantisée (panneaux, feux, signalisation. Elle concerne les voies couvertes par l'ODD (la partie géographique de l'ODD) mais pas toute la zone. La cartographie est réalisée par des géomètres experts avec un véhicule non automatisé équipé d'un LiDAR, d'une caméra et d'un positionnement GNSS+RTK. Le cas d'usage (ligne régulière ou transport à la demande) ne modifie pas les modalités de cette cartographie. C'est au sein de cette cartographie que le véhicule se positionne en dynamique. Mais des technologies sont en cours de développement (pour les véhicules légers) qui permettraient de s'affranchir de cette cartographie.

Cependant l'environnement change (constructions, modifications de voirie, (végétation ?)). Il faut donc mettre à jour la cartographie. Deux modalités de mise à jour sont envisagées. Il y a un véhicule spécifique (du fournisseur de cartographie par exemple) qui circule pour mettre à jour cette cartographie ponctuellement. Alternativement c'est le véhicule automatisé qui pourrait utiliser son LiDAR pour mettre à jour la cartographie.

Cette cartographie est actuellement stockée en interne sur le véhicule.

Il est possible de la modifier à la main (supprimer certains tronçons lorsqu'ils sont en travaux ou lorsqu'il y a des perturbations récurrentes). Cela permet de coller à la réalité du terrain au moment de l'expérimentation. La cartographie doit donc être importante pour permettre les contournements ponctuels – taille importante et maillage fin.

Un premier parcours fait en mode manuel permet à un humain de détecter les problèmes éventuels, de modifier la carte au besoin. D'identifier les problèmes récurrents. Deux applications : durant les XP on peut être en mode « démonstration technique » et laisser le véhicule s'arrêter lorsqu'il rencontre ces problèmes. Ou alors on peut être en mode « service fluide » et anticiper la reprise en main manuelle par l'opérateur de sûreté à un moment donné identifié dans le parcours.

Data – corrections RTK

La localisation est réalisée avec le GPS et corrigée avec la correction RTK/NTRIP pour avoir une précision centimétrique. Ces corrections sont reçues par le véhicule. Deux modalités pour la réception de ces corrections : il n'y a pas de balises RTK locales, les corrections sont envoyées depuis un serveur par réseau cellulaire, en souscrivant un service chez un fournisseur (Orphéon / Satinfo) qui fournissent des données transmises par réseau cellulaire 3G/4G/(5G) ce qui nécessite une carte SIM dans le véhicule. Alternativement (mais a priori uniquement en phase expérimentale) une ou plusieurs balises RTK locales transmettent les corrections par ondes radio ou par le réseau cellulaire.

La quantité de data associée à cette fonction est faible.

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.

Par exemple, pour les navettes, le LiDAR principal permet la lecture de l'environnement (il repère les objets statiques) et permet de déterminer la différence entre l'idéal (la cartographie) et le constaté. D'autres LiDARs servent à la détection d'obstacles. Pour les véhicules légers, le LiDAR donne une

bonne estimation de la vitesse des objets. Il n'est pas utilisé pour le positionnement (« pour l'instant »). Il est fourni avec un « chipset » fournissant l'IA, la décision propre. Un exemple de fournisseur : Velodyne.

Il y a généralement des caméras extérieures pour la perception (détection d'obstacles etc.). Pour les véhicules légers, il n'y a pas de stéréo. La caméra ne donne donc pas la vitesse ni la distance aux objets. Elle reconnaît les panneaux de signalisation et lit l'état des feux. Cette information est doublée avec celle issue des feux connectés directement. Mais tous les feux ne sont pas connectés et il y a des feux temporaires (liés aux travaux) qui ne sont pas connectés et ils ne sont pas cartographiés.

Parfois les panneaux de signalisation sont altérés (tags, autocollants) les rendant illisibles d'où l'intérêt de la redondance - ils sont par ailleurs cartographiés. Il y a des objets autres qui peuvent être interprétés comme des panneaux de signalisation. Enfin les panneaux réels et visibles sont parfois difficiles à interpréter : à qui s'adressent-ils ? Ils peuvent être visibles alors qu'ils sont situés sur une voie différente et s'adresser donc aux véhicules qui y sont situés, pas au véhicule autonome se trouvant sur une autre voie. Mais la caméra les voit et les interprète.

La caméra vient avec une IA (fournie par le fournisseur de la caméra) permettant de reconnaître l'environnement : détecter et classifier les objets.

Exemples : Mobileye (fabricant caméra) pas spécialisé dans l'automatique, juste niveaux 0-1-2. MobilEye - caméras, valéo, deafeye ? Sock ChipSet - fournissent la décision - c'est lui qui consomme plus d'électricité.

Enfin, pour les transports collectifs il y a également des caméras intérieures pour la supervision principalement (a priori pas de détection automatique de l'occupation actuellement, réalisée avec des capteurs IR).

Certains véhicules sont également équipés avec des radars (pas tous), de capteurs ultra-sons (sonars).

Exemples fabricants capteurs : Continental, Valéo.

Montage

Les capteurs sont produits par des entreprises spécialisées puis acheminés vers les constructeurs de plate-formes (Ligier, Lohr, Navya ?) où ils sont assemblés. Navya, EasyMile et Transdev configurent l'architecture et l'adaptent à la plate-forme (logiciels, décision).

Fonctionnement

Consolider la consommation d'énergie des différents capteurs. Faire attention : leur consommation est donnée à partir de la puissance électrique donc c'est une consommation horaire et non par km. Il faut intégrer le fait que les vitesses sont différentes selon les contextes.

Durée de vie

Actuellement, les capteurs ont 20 000 – 30 000 h de fonctionnement, ils sont en pratique utilisés pendant 1 an puis renvoyés vers le constructeur. Certains capteurs sont quasiment des prototypes et leurs technologies sont rapidement obsolètes. Les fabricants travaillent actuellement sur la performance technique (obsolescence technologique) et non sur la fiabilité (beaucoup de pannes). : Il faut se projeter dans la mise à l'échelle. On pourra s'attendre à moins d'obsolescence

(l'effervescence actuelle finira par se calmer) et moins de maintenance et de remplacement (plus de fiabilité).

Distinguer MTBF (mean time between failure) – à ce moment le composant doit être réparé. Et le MTTF (Mean time to failure) – à ce moment le composant doit être remplacé. Sur la durée de vie d'une architecture donnée (avant son obsolescence), les capteurs sont maintenus et remplacés régulièrement car leur durée de vie individuelle est faible.

La durée de vie des architectures est actuellement limitée, l'hypothèse de 5 ans est raisonnable. Les architectures deviennent obsolètes au fur et à mesure que des architectures plus performantes se développent.

Data – perception étendue et aide à la perception

Deux types de données de perception débarquée fixe ou issue d'autres véhicules connectés : l'aide à la perception (état des feux ou barrières connectées pour les fixes, position et vitesse des véhicules) et perception étendue (anticiper des événements ou obstacles en amont du parcours grâce aux capteurs débarqués comme les caméras et les LiDARs ou les informations transmises par les véhicules en amont).

I2V (connectivité) Les données issues des feux connectés sont indispensables pour la sécurité, elles viennent en redondance de ce que perçoit la caméra du véhicule. (I2V perception) Les données issues des caméras débarquées et des LiDARs fixes participent à la perception étendue non indispensable mais elle fluidifie le service.

L'équipement au sol transmet dans un périmètre autour de lui une information riche. L'équipement embarqué scrute (car il sait d'après la cartographie qu'il existe à cet endroit un feu, un LiDAR ou une caméra fixe) pour recevoir cette information et en extrait ce dont il a besoin. Il n'y a pas de message dédié à un véhicule.

Et la volumétrie dépend notamment des technologies de transmission :

Données transmises en environnement proche par réseau WiFi propriétaire + clé de certification. Les données concernent soit des événements (DENM – caractérisation et situation, localisation), signalisation (plot, barrière) diffusées par les UBRs à 1-1,5km. Soit des données dynamiques (suivi de véhicules par exemple). Si les données ne concernent que des événements, les volumes seront faibles mais s'il s'agit de données dynamiques (comme le suivi d'autres usagers de la route) alors la volumétrie totale sera plus importante (paquets plus petits mais plus fréquents).

Actuellement avec la communication de courte portée il n'est pas possible de transmettre de gros débits de data. Par conséquent les données raw (issues des caméras et des LiDARs) sont traitées par l'IA de l'UBR (unité de bord de route). Seules les tracking-lists sont transmises. Avec la 5G ça pourrait être différent. Cette communication pourra être réalisée sur des réseaux non propriétaires. 5G possible.

La communication V2V sera probablement réalisée par protocole en courte portée type WiFi. Donnée dynamique (suivi d'objets) donc volumes plus importants (paquets plus petits mais fréquence plus élevée). Possibilité de relayer l'information de proche en proche entre véhicules. Cette communication pourrait se faire par la 5G.

I2V (trafic) Echanges purement informatifs, non critiques, par exemple avec le centre de supervision ou concernant l'état du trafic. Sera réalisé avec le réseau cellulaire, 3G, 4G puis 5G.

2.2.2.4.4 Décision

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

Ordinateur de bord.

L'ordinateur de bord fusionne les données pour prendre les décisions concernant la trajectoire, l'itinéraire du véhicule, il assure également l'interprétation (décoder) des datas reçues. L'architecture de la décision dépend des exigences fonctionnelles ou de sécurité.

Une architecture fonctionnelle (pas de sécurité) serait applicable pour le niveau d'autonomie L3 nécessiterait par exemple 1 ordinateur de bord « classique » + 1 calculateur puissant servant à la fusion-décision.

Une architecture de sécurité (nécessaire a priori pour le niveau d'autonomie L4) nécessiterait 1 ordinateur de bord « classique » + 2 calculateurs puissants servant à la fusion-décision, assurant la redondance car ayant des architectures différentes, et portant la fonction de sécurité (notamment décoder la data). Des architectures de sécurité alternatives sont également à l'étude et pourraient reposer sur 1 calculateur puissant mais non de sécurité + 2 ordinateurs plus simples mais dédiés à la sécurité (donc redondance + décodage).

Dans la configuration actuelle l'ordinateur de bord prend des décisions déterministes. Dans le futur, l'apprentissage pourra être envisagé.

Exemples de constructeurs : NVidia (chercher autonomous driving proof), Volvo, Intel, Tesla communique beaucoup mais ont une solution maison, Uber aussi.

Boite noire.

En cas d'incident (par exemple arrêt d'urgence), le véhicule doit sauvegarder l'ensemble des données (capteurs, états des algorithmes, datas reçues...) sur 20 à 30s avant et après l'incident afin de permettre une analyse a posteriori pour reconstituer les événements en cas d'accident et pour permettre la recherche et développement en cas de dysfonctionnement. Il y a donc un enregistrement continu des données (1h de log stocké en local). Dont une partie uniquement pérenne en cas d'incident.

Par ailleurs pour les TC, un enregistrement des vidéos intérieures est également réalisé et stocké, comme c'est le cas actuellement sur les bus.

Ces enregistrements nécessitent de la capacité de stockage de données sur le véhicule en plus de la capacité de calcul de l'ordinateur de bord. Stockage important. Qui pourra augmenter avec les besoins du service (validation, services à bord). Différentes stratégies existent qui déterminent la quantité de données stockées.

Durée de vie.

A priori la durée de vie est actuellement limitée par l'obsolescence technologique de l'architecture globale perception-décision.

Data- collecte de données pour la R&D

La R&D consiste à récolter des données de roulage pour pouvoir les re-simuler pour la validation/homologation du véhicule d'une part et d'autre part (encore en prévision) pour développer l'IA du véhicule (son comportement social).

Premier besoin : valider le véhicule. Cela nécessite de collecter des données concernant les situations de trafic rencontrées. Puis reconstituer ces situations, scénarios. Puis simuler le comportement du véhicule dans ces situations pour valider la sécurité (engagement de faire 5 000 000 de miles de roulage ou simulation). Ceci nécessite de collecter puis transmettre les données, puis les traiter pour la reconstitution des scénarios et la simulation du comportement. La donnée est collectée par les capteurs du véhicule.

Deuxième besoin, plus lointain, permettre au véhicule de développer une intelligence artificielle. Lui permettre d'apprendre un nouveau comportement, plus proche de la conduite humaine actuelle, pour faire face à des situations inconnues, pour anticiper le comportement des autres usagers de la route. Actuellement ce n'est pas le cas dans les expérimentations mais les données collectées seront sauvegardées pour cet usage.

Exemple : Tesla ont des millions d'heures d'enregistrement. Des serveurs dédiés. De la transmission de données.

Pas tout à fait les mêmes technologies selon le cas : collecter des données sur des véhicules potentiellement en mouvement ou en différé, chez des clients type public (opérateurs) ou sur des services opérés par le constructeur lui-même. Il est probable que cet effort de R&D soit très long y compris en parallèle du déploiement cible des véhicules.

En termes de collecte des données de nombreuses configurations sont envisageables à la fois en quantité de données (collecter toutes les situations de roulage, uniquement le log des incidents), de nombre de véhicules servant à la collecte (tous ou uniquement une partie de la flotte) et les modalités de collecte (stockage local sur le véhicule puis collecte en différé via la fibre du site de remisage jusqu'aux serveurs, envoi en dynamique par cellulaire)

Pour le log total, il faut compter environ 4Go/min.

Dans tous les cas il y aura des mises à jour logicielles envoyées par le constructeur ou l'opérateur vers les véhicules : probablement lorsqu'ils seront à l'arrêt donc transfert par fibre sinon via le réseau cellulaire.

Data – gestion des missions

Il y a plusieurs types de data qui constituent des éléments à prendre en compte par la décision du véhicule sur l'itinéraire ou la trajectoire à suivre : télécommande en cas de reprise manuelle du véhicule ; demandes de franchissement de ligne continue ou autres demandes concernant la sécurité du véhicule ; télé-opération en cas de gestion d'imprévu sur la ligne ; demandes d'arrêt issues des applis usagers (pas de demandes d'arrêts depuis les stations, elles ne seront pas équipées ; cas TAD en particulier mais aussi navette régulière en mode « bus » (à vérifier?) ; le dernier cas consiste à faire de la fusion-décision sur une architecture de calcul virtuelle.

Actuellement tous les échanges entre le véhicule et le centre de supervision sont réalisés par réseau cellulaire.

Data – Télé-opération

Cette fonction est actuellement en test mais n'est pas un objectif dans le projet SAM. Cette télé-opération permettrait la reprise en main manuelle à distance. Car sinon il faudrait un opérateur à bord ou qui viendrait rejoindre le véhicule. Pas de télé-opération pour les véhicules particuliers (à ce stade seul le niveau L3 est visé pour les véhicules particuliers).

2.2.2.4.5 IHM

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

Composants.

L'interface de communication avec les passagers est constituée d'écrans, de haut-parleurs et microphones, et de valideurs de titres de transport. Actuellement sur les XPs il n'y a pas de valideurs. Les valideurs seront a priori card-based (pas de remontée-descente de données à chaque validation).

On peut s'attendre qu'à l'avenir, lorsqu'il n'y aura plus personne à bord, l'IHM sera renforcée et les valideurs seront installés (soit sur les véhicules soit en stations).

Data - Communication à distance

Il y aura deux types de datas : des informations (et infotainment) disponibles en permanence aux voyageurs ; des informations et messages qui seront communiqués en cas d'incident. Actuellement le safety driver assure la communication avec les passagers (lui-même étant en lien avec le PCC par radio).

Diffusion en permanence d'informations disponibles en local (position, temps de parcours, arrêts desservis etc...) qui pourrait être étendu avec un accès à une page internet par le réseau cellulaire en permanence pour diffuser les informations plus générales. En cas d'incident : diffusion de messages d'alerte préenregistrés sur le véhicule (la data éventuelle transmise par réseau cellulaire porte uniquement l'ordre de lire ce message) ou transmission du message par réseau cellulaire + appels d'urgence et instructions transmises par VOIP

2.2.2.4.6 V2X

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

Equipements.

Deux équipements sont systématiquement présents : l'OBU (on-board unit) pour la communication de courte portée par ondes radio et un modem 4G « classique ». L'OBU consomme environ 15W.

Exemples : Neavia (Lacroix) ; Cohda; Commsignia

Data - PKI

Pour garantir la sécurité et la cybersécurité des communications entre objets, il est nécessaire de signer chaque message envoyé. Chaque message envoyé s'accompagne donc d'un certificat PKI qui n'est utile que pour établir la communication. La gestion des PKI nécessite donc des transferts de données. Les volumes associés sont faibles.

Il existe deux manières de valider le PKI :

La validation se fait « sur place », c'est-à-dire à l'intérieur du véhicule. Nécessite un réseau (protocole) propriétaire. Cette modalité peut être nécessaire (tant que la communication cellulaire ne garantit pas une latence acceptable) pour des data de sécurité devant être traitées en temps réel (ex : état des feux).

La validation se fait dans le Cloud, c'est-à-dire que l'objet qui reçoit le PKI, le renvoie dans le Cloud et reçoit une réponse quant à sa validité. Ne nécessite pas de protocole propriétaire et peut donc être standardisé (ok pour V2V). Nécessite plus de temps (avec les technologies cellulaires actuelles et leur

latence) ne peut donc concerner des informations de sécurité devant être traitées en temps réel (mais ok si anticipation).

Par ailleurs les véhicules disposent d'un certificat temporaire devant être renouvelée (obtention d'un nouveau certificat sur les serveur PKI).

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).

Un centre de supervision à distance sera nécessaire dans toutes les solutions de mobilité, y compris en mode privé. Il héberge du personnel et de la capacité de stockage de données et de calcul. Le centre de supervision du service automatisé pourrait se trouver dans un centre de supervision centralisé dédié gérant l'ensemble des services automatisés déployés sur une zone ou être intégré au centre de supervision d'une ville ou hybrider les deux (une supervision centralisée et un relai local avec une connexion rapide et sécurisée entre les deux. La communication entre le centre de supervision et les véhicules doit être robuste.

La quantité de données à stocker et à traiter liées au mode autonome nécessitera des moyens de stockage et de traitement des informations. Le personnel du/des centre(s) de supervision devront accéder à ces données. Le dimensionnement de ces équipements doit être fait sur l'heure de pointe. Pour la gestion de ces données, plusieurs options – soit des serveurs supplémentaires seront installés dans le centre de supervision local pour stocker et traiter les données, soit l'accès se fera depuis le centre de supervision local aux données stockées dans le Cloud (API constructeur ou géré par l'opérateur), sans enregistrement en local + fibre et répéteurs entre les deux pour assurer un bon niveau de latence (une partie des informations doit être disponible en temps réel).

Un outil, accessible via le Cloud, commun à l'ensemble du personnel (superviseur, opérateur) et aux passagers, le FMS, est connecté à ces données.

Le personnel surveille ce qui se passe sur le service, capable de gérer les modes dégradés et les incidents/accidents (notamment communication avec les passagers, tant que le personnel sur place arrive). L'objectif est d'atteindre un ratio de 1 superviseur/5 véhicules (voir 1/10).

VX : 1 personne/10-20 véhicules (actuellement 1/10 car il y a un safety driver ce qui correspond au niveau L3, il assure une partie des fonctions mais ce n'est pas l'objectif, car niveau L4 visé)

Data - Opération à distance – s'assurer de réaliser le service prévu

L'opération à distance permet de s'assurer de réaliser le service prévu avec les autorités organisatrices de transport. Cela inclut des opérations courantes et ordinaires : la coordination entre les véhicules. Et des opérations de gestion des incidents/accidents/imprévus. Pour réaliser ces opérations, le centre de supervision reçoit des données du véhicule et communique à son tour des commandes au véhicule (l'information descendante est décrite dans Véhicule –Décision).

Actuellement la communication se fait avec le conducteur ou le safety driver, celui-ci reçoit et communique des informations au centre de supervision par radio (TETRA) que ce soit pour la gestion courante ou la gestion d'imprévus. Le safety driver est également connecté par tablette au FMS.

Sans conducteur à bord, le véhicule communique des données dynamiques au centre de supervision par réseau cellulaire (temps presque-réel). Il s'agit de données synthétiques de localisation, missions (éventuellement titres de transport mais peuvent être en différé). Cela permet de s'assurer de la

disponibilité des véhicules (pour les TAD), leur répartition géographique et entre les missions et faire de l'optimisation de la gestion de la flotte lorsque c'est possible. La gestion d'incident nécessite de plus de la VOIP avec les passagers (appel d'urgence).

Les équipements d'infrastructure ne communiquent pas actuellement avec le PCC. Mais différents scénarios sont étudiés : l'information des infrastructures en temps réel doit remonter par le véhicule au PCC (même s'il s'agit d'indiquer que le feu par exemple est en panne).

En fin de journée des données (logs de la journée, validations des titres de transport) sont transférées par fibre (ou par clé USB) depuis le site de remisage/dépôt jusqu'au centre de supervision pour analyse de la performance du service.

Data - Perception à distance – surveiller ce qui se passe sur le service

La vidéo-surveillance permet de maîtriser, comprendre, surveiller et repérer ce qui se passe sur le service pour une meilleure exploitation. Cela nécessite de remonter de la vidéo en streaming. Plusieurs paramètres sont encore incertains.

Quelles caméras envoient des données ? Caméras intérieures du véhicule – oui ; Caméras extérieures du véhicule - plus compliqué (frein RGPD probable) ; Caméras fixes sur l'itinéraire - compliqué également mais possible (autre option : uniquement les informations synthétiques qu'elles transmettent).

Pendant combien de temps les caméras envoient-elles des données ? A priori pas en permanence (sur les XP - si) ; lorsqu'il y a un souci (s'il y a une alerte envoyée par le véhicule car niveau 4 capable de se mettre en sécurité, vrai aussi pour les caméras sur le parcours car détections automatiques) ; juste pour s'assurer que tout va bien (forte affluence). Pour les caméras sur le parcours : uniquement quand le véhicule est à côté mais aussi en anticipation. On peut faire l'hypothèse d'une caméra intérieure qui transmet en permanence.

Quelle est la qualité de l'image ? HD (qualité actuelle non représentative, trop faible), quantité de Go associée à valider sur les XPs

Comment les data sont-elles transférées ? Streaming par réseau cellulaire. Fibre envisageable pour les caméras sur le parcours.

Par ailleurs, dans les TC, les enregistrements des caméras intérieures (pas toutes) doivent être stockés pendant plusieurs jours. Stockage sur le véhicule a priori.

2.2.2.5.2 Monitoring systèmes

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

Data – monitoring technique - Surveiller les valeurs d'état

Depuis le centre de supervision les opérateurs peuvent surveiller ce qui se passe sur le véhicule et s'assurer de son bon fonctionnement. Au-delà des données nécessaires à l'opération (localisation du véhicule, vitesse, missions), surveiller les valeurs d'état nécessite d'envoyer depuis le véhicule une liste d'informations complémentaires (température, état batterie, état moteurs, indicateurs du bon fonctionnement de certains systèmes, état du véhicule, capteur de poids, cap, ouverture/fermeture des portes...).

Le véhicule envoie une quantité d'informations synthétiques, via le réseau cellulaire, au Cloud pour stockage et traitement ou via le système d'API directement à l'opérateur du service au centre de

supervision où elles sont ensuite enregistrées. Fréquence de transfert : 2Hz. En ordre de grandeur on pourrait compter 10Go par mois mais avec la 5G cette quantité pourrait augmenter.

Par ailleurs, afin de pouvoir établir la responsabilité de conduite à tout moment (même lorsque le véhicule n'a pas détecté un incident), certaines données synthétiques (comme le mode de conduite autonome ou manuel) sont systématiquement transférées via le réseau cellulaire au Cloud.

Un log est constamment généré sur le véhicule dans sa « boîte noire ». Il enregistre toutes les données du véhicules (tous les états, y compris ceux des algorithmes, et les flux vidéos également) afin de permettre la reconstitution des événements en cas d'incident (ce que le véhicule a vu, compris et décidé). Ces données sont enregistrées en continu (pas de stockage de long terme), 1h d'enregistrement est gardée sur le véhicule. L'enregistrement pérenne ne concerne que les incidents (quelques dizaines de secondes 20-30 avant et après l'incident). Seul cet enregistrement est transféré à la supervision en cas d'incident (comme un arrêt d'urgence). Ces données servent notamment pour la recherche et développement. A priori ces données seront transférées par fibre au site de remisage, en différé (pour les services de mobilité).

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.

Les conducteurs des modes conventionnels (y compris VP) et les safety driver (opérateur de sureté) des L3 assurent les fonctions de reprise en main manuelle, ils interviennent sur le véhicule en cas d'incident, ils gèrent les modes dégradés, la communication avec les passagers. Ils sont immédiatement disponibles pour intervenir. Ces personnels sur place effectuent des trajets domicile-travail qu'il s'agit de prendre en compte dans l'évaluation.

Sans safety driver (à partir de L4 inclus), les opérations qui lui incombent (reprise en main manuelle, intervention en cas de défaillance ou de panne) reviendront au personnel sur place qui devra être prêt pour intervenir rapidement : agents mobiles et/ou agents en terminus. Les agents mobiles se tiennent prêt à intervenir. Ils sont en stations ou entre stations (découpage de la ligne en plusieurs tronçons (OdG 10km) assurés par des équipes mobiles). Les agents en terminus assurent les prises de service (tour du véhicule) + un tour à blanc pour assurer qu'il n'y a pas d'obstacles sur l'itinéraire.

Ces agents seront équipés pour intervenir : véhicules thermiques ou électriques pour les agents mobiles, tablette ou équivalent pour pouvoir se connecter au FMS, radios pour communiquer avec le centre de supervision.

Si le véhicule sort de l'ODD, il enverra une alerte au centre de supervision qui communiquera (par radio TETRA) avec le personnel sur place pour les faire venir sur le véhicule. Ils pourront alors continuer à communiquer avec le centre de supervision par radio et se connecter au FMS par tablettes.

On pourra compter 1 agent / 5-6 véhicules pour les services de transport sur itinéraires prédéfini.

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.

Cette infrastructure conventionnelle est composée de chaussée, barrières, ouvrages d'art, signalisation horizontale et verticale conventionnelle. Pour la circulation des véhicules automatisés des travaux de remise aux normes sont à prévoir, notamment pour la signalétique horizontale (marquage central, passages piétons) et les dégradations majeures (nids de poule). Il y a peu de données concrètes actuellement sur la maintenance nécessaire. A priori il faudra plus de maintenance en particulier de la végétation (coupes) mais il est difficile de savoir si ces besoins se maintiendront lorsque les technologies deviendront plus mûres.

Les travaux sur l'infrastructure perturbent le fonctionnement du VA (technologie actuelle) créant un environnement non anticipé. C'est plutôt une question de gouvernance, besoin de se coordonner avec les gestionnaires d'infrastructure (comme un mode sur rails). Il est possible d'ajuster la cartographie pour en tenir compte et les contourner ponctuellement. La cartographie doit donc couvrir une zone large et être bien maillée.

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.

Signalétique.

Pour les XP (ne sera pas reconduit dans le déploiement cible a priori) des panneaux d'avertissement du passage de véhicules autonomes sont installés pour prévenir les personnes.

Arrêts et points de rencontre.

Les arrêts (services sur itinéraires pré-établis) sont matérialisés par des zébras, voir pas du tout, visibles uniquement sur l'app. Leur accessibilité est assurée par la création de plateformes. Des abris-voyageurs peuvent également être créés, comme pour les services conventionnels.

Pour les services diffus, la volonté est de reprendre les codes des taxis et des VTC, donc il n'y a pas d'aménagement spécifique des arrêts prédéfinis dans la cartographie. Le véhicule se gare sur le bas-côté idéalement dans des zones protégées du trafic permettant la montée-descente en toute sécurité.

Dépôt, aires d'attente.

Plusieurs équipements sont nécessaires pour les services de transport : des dépôts (bâtiments fermés a priori), pour les TAD, les services d'auto-partage et de VTC il y a en plus des places de stationnement et des aires d'attente entre missions, potentiellement équipées en bornes de recharge, éventuellement par induction. Ces places doivent être réparties dans le territoire desservi pour minimiser les temps d'attente des clients.

Sites de remisage, ateliers de maintenance, garages.

Les sites de remisage et ateliers de maintenance permettent de réaliser les opérations de maintenance et l'entretien courant des véhicules.

Bornes de recharges électriques, stations-services.

Toute chose égale par ailleurs, il n'y a pas de changements à prévoir sur les bornes de recharges électriques, les garages ou les stations-services par rapport aux modes électriques conventionnels. Cependant les véhicules pourront être plus flexibles sur les modalités de recharge (horaires).

Plusieurs stratégies de recharge électrique sont envisagées (car les véhicules pourraient être autonomes pour se recharger par exemple par induction) : différentes vitesses de recharge sont disponibles, il y a la possibilité de Smart Charging (selon la teneur carbone de l'électricité) ou de Vehicule-to-Grid (stocker l'électricité pendant le pic de production et restituer pendant le pic de consommation). Cela permettrait de minimiser le temps d'immobilisation du véhicule ou optimiser son utilisation, réduire les impacts environnementaux ou encore combiner la recharge avec l'entretien ou le nettoyage. La stratégie choisie l'est en lien avec la taille de la flotte, la teneur carbone de l'électricité, la taille de la batterie (seules les grandes capacités rendent le Smart Charging et le V2G intéressants, les petites nécessitant de recharger plus souvent), l'autonomie du véhicule.

Applications mobiles (MaaS)

On s'attend à une généralisation des applications sur smartphones et pour les services à la demande elles sont indispensables. Deux possibilités : une appli dédiée au service ou intégrée avec les autres TC. Tout dépend de l'OAT. Pour fonctionner, l'application nécessite l'équipement utilisateur (smartphone), recevant des data depuis le serveur de l'application qui effectue les calculs à partir d'une diversité de sources de données (horaires et itinéraires en temps réel de l'ensemble des services intégrés dans le MaaS via les API des opérateurs).

Data - applications mobiles

La tendance observée actuellement sur tous les TC est l'augmentation de l'utilisation des applications mobiles transport. Les utilisateurs reçoivent des données de localisation des véhicules, horaires en temps réel. Pour les TAD l'application est indispensable et l'usage est à calquer sur celui des VTC (usage plus fort que pour les TC réguliers). En plus de recevoir les données de localisation ces apps permettent de remonter les demandes d'arrêt.

2.2.2.6.3 Geo-positionnement

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

Par exemple, pour la correction RTK il est possible d'installer des balises RTK dédiées mais ce scénario est peu probable dans le passage à l'échelle.

Les accroches LiDARs peuvent aider le véhicule à se positionner (si les LiDARs sont utilisés pour la localisation), en particulier dans un espace très grand sans objets. Mais leur utilisation reste ponctuelle.

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).

La nécessité de perception débarquée fait encore débat : certains disent que l'infrastructure spécifique de perception ne sera pas nécessaire (caméra, connectivité), d'autres affirment qu'elle sera indispensable.

Caméras débarquées.

Les caméras sont implantées sur les candélabres. Elles permettent la perception étendue non indispensable mais elle fluidifie le service. Les caméras actuellement déployées (sur autoroutes par exemple) sont de type visible RGB mais il y a d'autres caméras possibles (thermiques) permettant la détection la nuit. Elles n'ont pas la même portée de détection (detection range). Pour le VA on peut prendre les mêmes caméras que celles actuellement déployées ou alors des caméras avec une plus

grande résolution (donc plus de données) ce qui augmente la portée de la détection grâce aux capacités de l'IA.

Les caméras vidéo/thermiques permettent de repérer les VRU (vulnerable road users), usagers vulnérables comme les piétons et les cyclistes. Installées autour des zones sensibles (présence d'usagers vulnérables, visibilité faible par exemple lorsqu'ils sont masqués par un rond-point bombé ou un angle droit). Pour certains les caméras thermiques sont trop expérimentales pour être intégrées dans le scénario de déploiement cible.

Objectif d'anticiper pour améliorer le confort et augmenter la vitesse de roulage (s'il n'y a personne pas besoin de ralentir), pour garantir la sécurité (certaines situations avec trop peu de visibilité donc équipements nécessaires). Mais actuellement la sécurité ne repose pas dessus (car la latence est trop importante et les transmissions ne sont pas fiables) mais il est possible de prendre en compte ces informations (adaptation du comportement et non décision préprogrammée comme un stop).

Un équipement de caméra débarquée comprend la caméra elle-même et un équipement de communication (calculateur de post-traitement et de « mise en forme » du message car il n'y a pas de transmission de flux vidéo raw – OdG : 1,5 kg, 15W) et une antenne UBR. La caméra n'est pas de sécurité actuellement, il n'y a donc qu'un seul calculateur. Si la caméra devient de sécurité, il faudra doubler le calculateur.

Avec la 5G on peut envisager que des débits plus importants soient transmis et que l'IA ne soit plus implémentée dans l'UBR mais pour l'instant c'est encore lointain.

La durée de vie des équipements de perception débarquée : 5 ans (principalement à cause de vandalisme donc non lié à la fiabilité actuelle des technologies).

Une incertitude subsiste concernant l'obligation future de stockage des informations pour l'équipement débarqué : sera-t-elle similaire aux besoins côté véhicule, pour constituer une « boîte noire » ou comme l'enregistrement des caméras de surveillance ? Mais cet aspect sort a priori du périmètre du véhicule automatisé, c'est un besoin lié à la gestion de l'infrastructure.

LiDARs fixes.

Le LiDAR assure les mêmes fonctions que la caméra débarquée : anticiper, notamment les usagers vulnérables. Pour certains, c'est un équipement trop expérimental pour intégrer dans le scénario de déploiement cible.

De même que pour les caméras, un équipement comporte le LiDAR et un calculateur de post-traitement et de mise en forme du message et une antenne UBR. Le LiDAR n'est pas de sécurité actuellement, il n'y a donc qu'un seul calculateur. Si le LiDAR devient de sécurité, il faudra doubler le calculateur.

De même que pour la caméra, des technologies de calcul distribué que permettraient les capacités de transfert de la 5G sont actuellement étudiées mais restent insuffisamment matures pour les intégrer dans les scénarios cibles.

Durée de vie des équipements : prendre la même hypothèse de 5 ans (vandalisme).

Feux connectés

A la différence des caméras et LiDARs, les feux connectés envoient une information concernant leur propre état, ils servent à redonner l'information de perception embarquée concernant l'état du feu (par exemple en cas de météo difficile) et également pour gérer la priorité (le véhicule peut

demander la priorité). Il y a un objectif de sécurité important sur la qualité des données et la fiabilité et la sécurité de la transmission. Taux 10^{-9} . Selon norme ASIL (ABCD) : niveau D à atteindre.

Il existe des feux connectés déjà implantés qu'il est alors possible d'utiliser. Tous les feux ne sont pas connectés, en particulier les feux temporaires ne sont pas connectés (ils ne sont pas cartographiés non plus).

Un équipement comporte le feu lui-même ainsi que 2 calculateurs (contrôleur de carrefour, OdG :1,5 kg, 15W chacun), du câblage et une antenne UBR (ses caractéristiques sont proches de celles sur les véhicules).

Actuellement les constructeurs (cf exemples plus bas) n'arrivent pas à faire des contrôleurs de carrefours de sécurité. Leurs équipements peuvent donc servir les véhicules connectés mais ne sont pas suffisants pour les véhicules autonomes, des calculateurs supplémentaires sont nécessaires pour encoder/décoder et redonder le calculateur de base, c'est la raison pour laquelle il y a deux calculateurs dans les feux connectés pour les véhicules autonomes.

Mutualisation des calculateurs/contrôleurs de carrefours. Le contrôleur de carrefour peut être mutualisé pour des feux proches (un contrôleur est capable de gérer jusqu'à 40 feux) car il est possible de les connecter. Cependant cette connexion est limitée : au-delà d'une certaine distance (OdG : 100m), le coût des travaux en ville (tranchée pour poser la fibre) sont trop importants pour établir la connexion et cela coûte moins cher d'installer des contrôleurs de carrefours supplémentaires.

Exemples : Fareco, Lacroix

Barrières connectées

Sur les autoroutes, il n'y a pas de feux connectés mais il y a des barrières des péages. Ces intersections sont ainsi signalées et de même que pour les feux, cette information doit être redondée. Toutes les barrières des péages sont raccordées par fibre au centre de gestion de trafic (pas de calculateur sur place, pas d'UBR dédiée) et les informations d'état remontent au centre de gestion de trafic pour les besoins d'exploitation.

Pour le véhicule autonome, ces informations seront traitées de manière spécifique et fournies, avec des informations supplémentaires, aux véhicules lorsqu'ils sont en approche des péages. Les informations concerneront plusieurs voies en même temps susceptibles d'intéresser le véhicule autonome. Les informations seront fournies par UBR du péage ou en amont du parcours via le réseau cellulaire.

Les barrières connectées sont donc composées des barrières elles-mêmes, d'une connexion fibre au centre de gestion de trafic, d'une connexion filaire à l'UBR du péage et le traitement de ces informations est réalisé en central dans la plate-forme I2X.

Densité d'équipements.

On peut distinguer plusieurs types de points pouvant être équipés : intersections sans feu ; intersections avec feux ; ligne courante ; passage piéton (une sorte d'intersection) ; zones accidentogènes (peuvent être en intersection ou en ligne courante).

Selon les contextes de déploiement, les besoins d'équipements (technologie de perception débarquée et densité d'équipements) sont différents. Le cas des feux et des barrières (sur les autoroutes) connectés est à part, l'information est indispensable à la sécurité.

En ce qui concerne l'équipement en capteurs (caméras ou LiDARs), il y a plus d'incertitude sur les besoins futurs. En contexte urbain dense il y a une plus grande diversité de flux et de situations de circulation pouvant nécessiter l'anticipation et une plus grande densité d'intersections. A l'inverse en territoires moins dense les intersections sont plus espacées. Selon le cas d'usage les possibilités d'équipement de l'infrastructure diffèrent également : pour les services sur itinéraires pré-défini, il est possible d'équiper l'itinéraire suivi plus densément que pour les services diffus à la demande. Donc a priori l'équipement sera concentré sur les points singuliers : zones accidentogènes, péages (barrières), échangeurs, points difficiles (faible visibilité comme les ronds-points bombés, angles droits avec des murs).

En contexte autoroutier actuellement il n'y a pas de vision claire de la densité de caméras nécessaires pour la mise à l'échelle et leur utilisation probable. Dans la gestion actuelle des autoroutes il y a des caméras (visible) de vidéo-surveillance implantées assurant l'aide à l'exploitation : voir ce qui se passe et détecter automatiquement les incidents. Ces caméras sont raccordées par fibre au centre de gestion de trafic.

Ces caméras seront exploitées pour la MA. Pour la mobilité autonome d'autres caméras sont également envisagées à la fois en termes de technologies (caméra thermique) et de résolution (plus grande résolution) ce qui permettrait la détection de nuit d'une part et une plus grande portée de détection d'autre part. Les informations issues de ces caméras devront être exploitées par l'IA pour la MA soit en central (centre de gestion de trafic), soit en local (dans quel cas des calculateurs devront être associés à chaque caméra implantée) soit dans un modèle hybride (des calculateurs mutualisés par tronçons). Les informations traitées descendront alors au VA soit par UBR, soit par cellulaire.

Les densités dans les XPs actuelles sont expérimentales – elles ne correspondent ni au min ni au max envisageable pour la mise à l'échelle. Des caméras avec une plus grande résolution permettront de diminuer la densité d'équipements nécessaires.

Maintenance et remplacements

Il y a peu de données concrètes actuellement sur la maintenance de l'infrastructure active. A priori il faudra plus de maintenance sur l'infrastructure connectée et cela nécessitera peut-être plus de personnel et d'équipements.

Durée de vie.

Le réseau est validé pour un certain temps, par contrat (avec les AOT ?). Durant ce temps le gestionnaire d'infra (opérateur ?) s'engage par contrat de maintenance à remplacer les équipements lorsqu'ils tombent en panne. Il constitue donc des stocks suffisants (car les contrats peuvent être longs et les équipements seront obsolètes et ne seront plus disponibles dans le commerce). Lorsque les équipements sont obsolètes (et stocks épuisés et ils ne sont plus disponibles dans le commerce), une nouvelle architecture doit être validée.

Dans le ferroviaire, les engagements de 20 à 30 ans sont courants pour maintenir un réseau validé. Et les équipements de l'infrastructure doivent être changés tous les 15 ans (hypothèse de calcul). Pour le véhicule électrique le modèle est plutôt celui des bus électriques, des tram – engagements de 15 ans maximum. Prendre 10 ans comme valeur de référence. Et pendant ce temps, il faudra changer les équipements (cf hypothèses des durées de vie des équipements).

Mutualisation des équipements

La mutualisation des équipements de perception débarquée dépend des modalités (gouvernance) de leur implantation et du type de capteur installé :

Installés par la ville la mutualisation avec d'autres usages est envisageable. Les caméras peuvent être utilisées pour la vidéo-surveillance, pour d'autres services de transport ou pour l'exploitation de l'infrastructure (cf autoroutes). Dans ce cas la remontée des données au centre de gestion de trafic peut être mutualisée pour l'ensemble du trafic. Mais mutualisation uniquement pour les VA (ou véhicules connectés) du traitement supplémentaire de ces informations et des datas qui redescendent vers les VA (ou véhicules connectés). Mais les équipements nécessaires sont parfois différents (pas les mêmes caméras). Il n'y aura pas d'utilisation de LiDAR dans les usages partagés a priori. Dans tous les cas, les données raw (caméras et LiDARs) ne seront pas partagées, seules les tracking lists pourront être partagées. Les feux connectés sont nécessairement installés par la commune donc mutualisés.

Installés par l'opérateur, la mutualisation avec d'autres usages sera a priori faible (ils garderont les data pour leurs usages propres).

Data – perception débarquée

Le seul cas où le véhicule communique des data à l'infrastructure est lorsqu'il demande la priorité à un feu connecté. Il envoie alors un PKI et des informations de position, vitesse (téléométrie). Cette communication se fait par UBRs.

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. Les caméras et LiDARs produisent des volumes importants de données brutes qui sont analysées par des calculateurs (classification et suivi d'objets) pour en extraire des informations (tracking lists). Ces tracking lists sont utilisables par les véhicules connectés ou automatisés.

Pour le traitement des données de perception et la préparation des messages avant envoi aux véhicules, trois architectures différentes sont envisagées : traitement en local en utilisant un ou plusieurs calculateurs associés à l'équipement de perception débarquée, traitement centralisé en utilisant des serveurs situés par exemple dans le centre de gestion de trafic, ou traitement hybride, par tronçons d'infrastructure. Les composants associés peuvent donc être différents (si ce n'est en composition, au moins en poids et puissance).

Exemple : les calculateurs centralisés sont principalement constitués de cartes graphiques NVidia

Lorsque le traitement des données est réalisé localement, les calculateurs ne sont alors pas nécessairement connectés au centre de supervision. Mais lorsqu'ils le sont, ils peuvent être connectés par fibre ou cellulaire. Côté véhicule, les informations redescendent par UBRs mais peuvent également être diffusées par cellulaire (zones plus en amont).

Pour une architecture centralisée, il y a un calculateur pour une dizaine de capteurs dont les données remontent par fibre au centre de gestion de trafic. Puis les données traitées redescendent vers les UBRs par fibre pour être communiquées aux véhicules en approche. Alternativement par réseau cellulaire aux véhicules en amont des zones équipées en UBRs.

Le développement de l'IA sur les équipements de perception débarquée sur l'infrastructure est actuellement envisagé afin de développer des algorithmes de détection automatique d'incidents et la génération d'alertes (diminuant le besoin de supervision humaine active).

Data – Traitement des données

Lorsque le traitement est réalisé en hybride ou en central, le transfert de données a lieu entre le capteur qui produit la donnée brute et le calculateur qui analyse ces données. Il s'agit donc de données issues des équipements de perception débarquée : caméras, LiDARs, feux connectés, barrières connectées.

La mutualisation de ces transferts de données dépend de l'utilisation qui est faite des données brutes – lorsqu'elles servent la gestion trafic (par exemple en permettant une vidéo-surveillance) – la mutualisation se fait sur tout le trafic.

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.

Plusieurs moyens de télécommunication sont utilisés.

Radio.

Les opérateurs de transport utilisent actuellement le système de communication radio TETRA. Il s'agit d'un réseau professionnel. Les antennes sont donc déjà existantes (indépendant de la mobilité autonome) et mutualisées avec d'autres services de transport.

UBR.

Les UBRs permettent d'établir une communication de courte portée (rayon d'environ 500 m) utilisant des radiofréquences de 5,9GHz (ITS G5) type WiFi. Ils sont alors implantés le long d'un itinéraire pour créer une couverture continue ou ponctuelle aux points singuliers. Ils nécessitent donc des travaux d'installation.

Les UBRs servent uniquement à communiquer les informations du réseau récoltées par les capteurs débarqués et les opérateurs. Ils ne contiennent pas de décision dans les unités. Il n'y a pas non plus de event data recorder (pas de stockage d'information) car il n'y a pas d'obligation d'enregistrer aujourd'hui - les UBRs ne portent pas de responsabilité aujourd'hui, c'est uniquement un moyen de communication.

Par défaut les UBRs sont raccordés au centre de supervision de trafic et gestion de l'infrastructure par fibre optique, sauf configurations complexes où la connexion est réalisée par réseau cellulaire.

Deux types de protocoles de communication sont actuellement utilisés : ITS-G5 ou CV-2X.

Exemples : Lacroix, Fareco, 3M. OdG : 40W à 300W par unité ?

Antennes cellulaires.

En compétition et/ou en complémentarité de la communication de courte portée, la communication cellulaire permet une communication de longue portée. Elle nécessite une couverture cellulaire continue mais ne nécessite pas d'UBRs. Elle peut être réalisée avec des antennes 3G, des antennes 4G et des antennes 5G.

Densité d'équipement selon les contextes.

Le choix entre communication de courte portée ou cellulaire est réalisé suivant les finalités de la communication et donc les exigences de volume, latence, sécurité, spécificité des données à la

localisation. Cela se traduit par des besoins d'équipements de l'infrastructure en UBR et antennes cellulaires.

Mutualisation des équipements de télécommunication.

Dans le contexte de services de transport sur itinéraires prédéfinis, les équipements de communication V2X (entre l'infrastructure et le véhicule) actuels sont dédiés au service de mobilité autonome. Ils ne seront pas mutualisés. Avec la 5G, les antennes utilisées pour la communication infrastructure-véhicules, seront probablement également dédiées car si la sécurité repose sur ces moyens de communication, il faudra assurer la latence et la disponibilité. Or, réserver une bande passante suffisante pour la transmission de données et de l'encodage, sur le réseau public a un prix.

La transmission de données entre le véhicule et le centre de supervision (via le réseau cellulaire actuellement) ne nécessite pas cette même latence et disponibilité (c'est du temps quasi-réel, pas du temps réel), le réseau cellulaire public est suffisant. Les équipements sont donc mutualisés (avec les usages de téléphonie).

Cependant, le réseau cellulaire public peut être insuffisant. C'est le cas dans les zones blanches, si la volumétrie des données échangées dépasse les capacités qu'on peut accorder à la mobilité automatisée sur les réseaux publics ou si le risque d'avoir des coupures ou des indisponibilités de réseau (en cas d'événements publics par exemple) est élevé et réserver de la bande passante serait trop cher pour garantir la disponibilité et la robustesse nécessaires. Il sera alors nécessaire d'installer des antennes supplémentaires qui peuvent être dédiées à la mobilité automatisée ou venir densifier le réseau public.

Cas particulier de la 5G.

Le déploiement de la 5G peut être décidé indépendamment de la mobilité automatisée. Mais si le besoin total en data dépasse un certain seuil, cela peut motiver le déploiement de la 5G publique sur le territoire. Par ailleurs, comme pour la 3G et la 4G l'opérateur de transport peut décider, si le réseau public est insuffisant, d'installer des antennes 5G privées.

La 5G offre des débits bien plus importants et une latence bien plus faible. Ces nouvelles fonctionnalités peuvent modifier le fonctionnement de certains systèmes (cf plus haut au cas par cas pour construire les scénarios correspondants). Par conséquent lorsqu'elle sera déployée, elle sera utilisée : pour les transmissions actuellement effectuées sur la 3G/4G mais les latences réduites permettraient peut-être des usages nouveaux, potentiellement de sécurité.

Effets rebond au passage à la 5G ?

Un des effets les plus probables associé au passage à la 5G, est d'augmenter les quantités de données transmises avec la 3G/4G (cf plus haut pour identifier lesquelles, notamment streaming vidéo, transmission du log). Ces quantités plus importantes de données pourront nécessiter des capacités de stockage et de traitement supplémentaires (dans le Cloud, dans le centre de supervision).

C'est une tendance qu'on observera dans tous les usages numériques (usages privés, téléphonie etc...). Dans le cas où la mobilité autonome motivera le déploiement de la 5G publique quelle part de ces effets doit être attribuée à la mobilité autonome ?

Data - Télécommunications

PKI

Afin d'établir la communication, les UBRs devront recevoir et valider les certificats PKI des véhicules, de la même manière que les véhicules (cf Véhicule – V2X)

Data - Perception débarquée

Dans les architecture de traitement centralisé des données issues des capteurs, les UBRs servent à diffuser les informations de perception débarquée (et d'autres informations synthétiques) uax véhicules à proximité. Pour cela ils reçoivent les informations depuis la plateforme I2X de traitement des données. La plupart des UBRs sont connectés par fibre mais dans certaines configurations la connexion est réalisée par réseau cellulaire.

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 exclue 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

Le document fourni en annexe donne une vision complète des éléments techniques qui ont été identifiés à travers les entretiens et la littérature et précise pour chaque élément si, en accord avec les critères ci-dessus, cet élément a été inclus ou exclu du périmètre d'évaluation (colonnes 2 – fin).

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

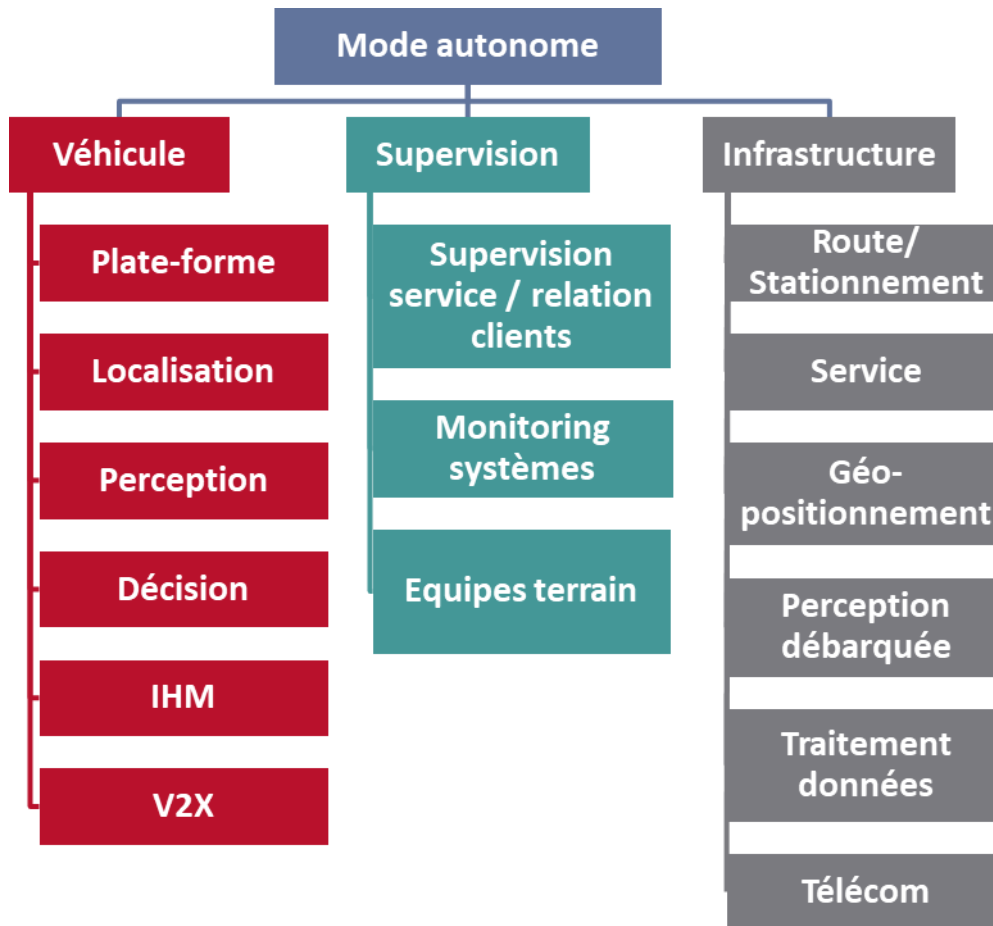
Le modèle générique est structuré en trois grands systèmes impliqués dans la mobilité automatisée – le véhicule, l'infrastructure et la supervision. Le travail d'analyse de ces systèmes à partir des expérimentations et des entretiens a permis d'identifier une structure générique pour les sous-systèmes 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, des caractéristiques issues des XP, 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, les caractéristiques issues des XPs, les entretiens menés avec les partenaires industriels, 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 :

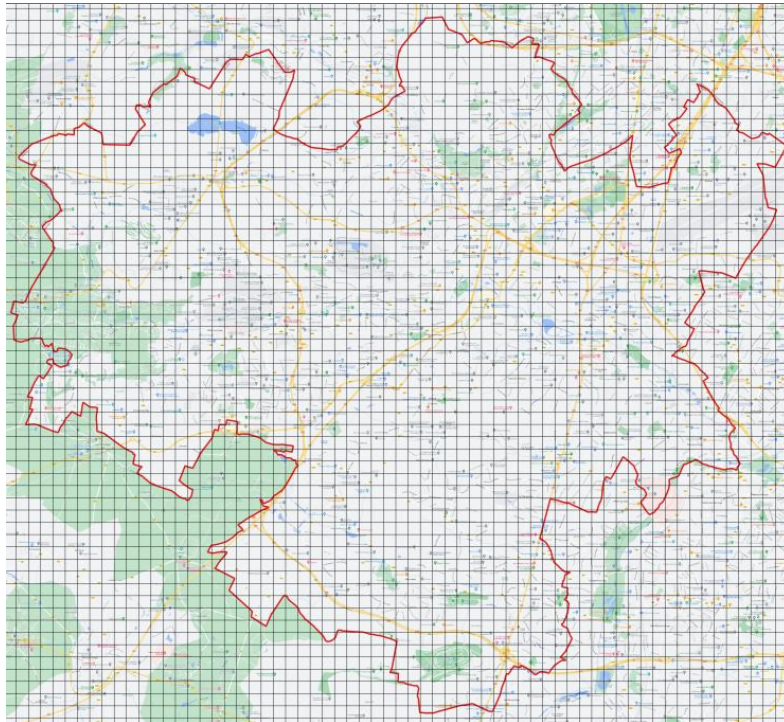
- Les ateliers « Modèles économiques » exploratoires permettent d'explorer les modèles d'affaire des services de mobilité automatisée sur des territoires génériques (urbain, périurbain, rural) et comprendre les arbitrages mis en jeu, les ressources et les acteurs mobilisables.
- Les ateliers de « Finalisation 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.

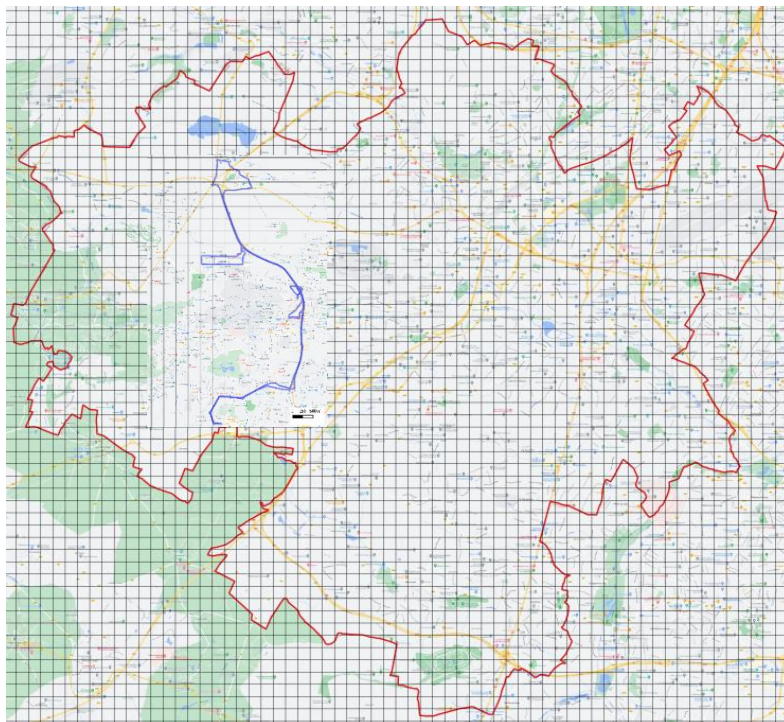
Au sein du projet SAM, cette méthode a été déclinée pour scénariser 2 cas d'usage sur le territoire péri-urbain de Paris-Saclay l'un des sites d'expérimentation du projet SAM en 2030 (date faisant consensus entre partenaires et en accord avec la stratégie nationale de déploiement de la mobilité automatisée).

Les ateliers « Finalisation des services » ont abouti à deux scénarios de services.

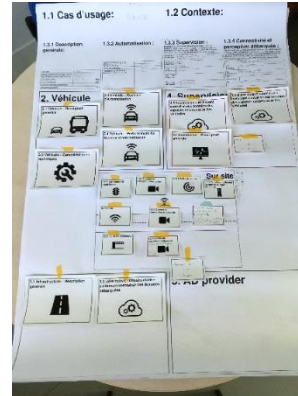
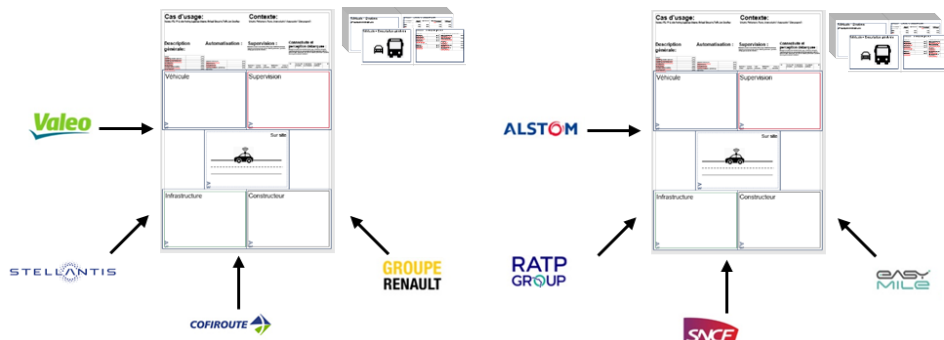
L'un des services propose une desserte point à point avec des véhicules légers couvrant toute la surface de la CAPS de 187km² avec des points de rencontre tous les 300-500m. Il s'agit d'un service à la demande en complémentarité de l'offre de transport public (bus, ferré) disponible uniquement à partir de l'application MaaS Ile-de-France. La figure ci-dessous représente le territoire de la CAPS avec la grilles de points de rencontre superposée (réalisation Fabien Kaptue, LVMT).



Le deuxième service est un service de minicar circulant sur un itinéraire fixe (15km ligne – dont 7 km sur la N118) en complémentarité à une ligne régulière existante assurant des passages réguliers aux heures creuses et fonctionnant en transport à la demande la nuit. Sur la figure ci-dessous, l'itinéraire de la ligne, en bleu, est superposé à la carte précédente.



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)

Dans le scénario de service de desserte point à point par des véhicules légers, le véhicule léger est automatisé de niveau 4 (nécessitant des capteurs, 2 calculateurs, une « boîte noire », une OBU, une IHM (écrans, interphonie)) circulant sans safety driver. Le véhicule peut nécessiter une reprise en main ponctuelle en cas d'incident ou de zones de travaux.

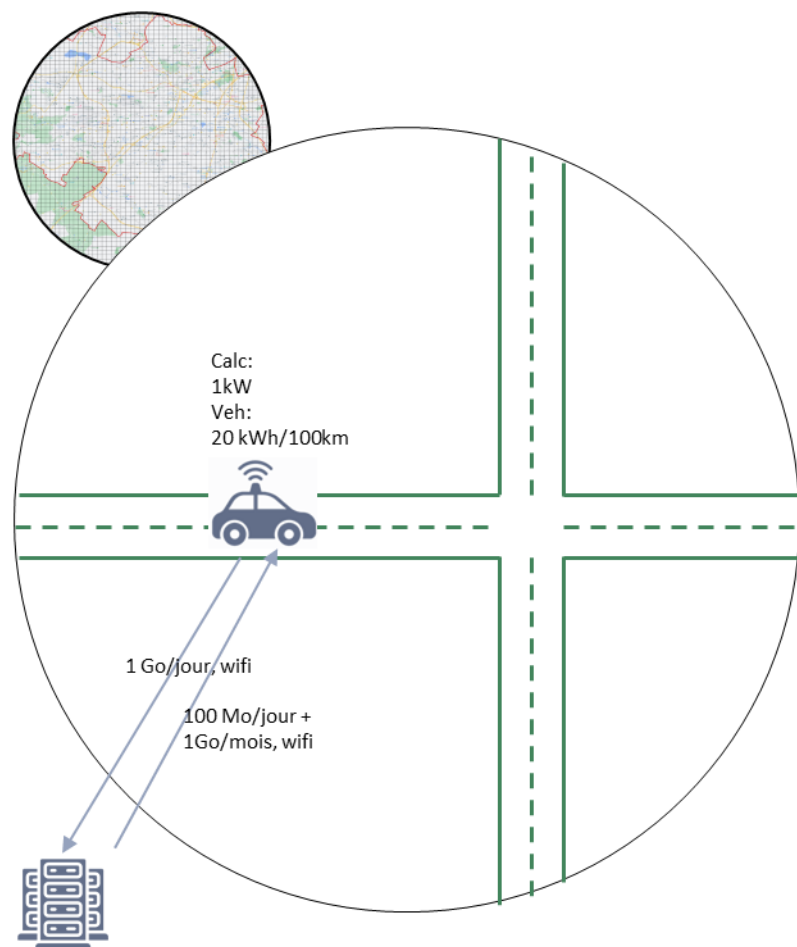
Il possède une capacité de 6 à 9 places, dont une place, sur quelques véhicules, équipée pour les personnes à mobilité réduite, sans capacité de fret. Ainsi le poids total maximal en charge est de l'ordre de 2500kg.

L'automatisation de la conduite nécessite la redondance d'actionneurs (freinage et direction) qui se traduit par l'ajout de faisceaux de câbles et d'une batterie de secours de l'automatisation de 10kg environ. Le véhicule est 100% électrique avec un seul moteur et une batterie d'une capacité de 50kWh permettant une autonomie supérieure à 200 km (10h). La recharge de la batterie s'effectue à une borne de 22kW de puissance aux dépôts.

Le véhicule circule sur l'ensemble des voies (y compris voies réservées taxi et bus) de la CAPS (environ 2000km cartographiés en HD et circulés à l'avance) en trafic mixte, à la vitesse du trafic environnant. La vitesse maximale atteignable par le véhicule est ainsi de 110km/h (vitesse maximale réglementaire). L'infrastructure passive – la route (bitumée uniquement) devant être en bon état (revêtement de route neuf à ancien avec de multiples revêtements mais sans déformations et en l'absence de nids de poule et de dos d'âne) afin de permettre l'automatisation de la conduite, la maintenance est renforcée (x2 marquage, x 1,5 entretien voirie, x1,5 entretien des abords et de la végétation en rural). La disponibilité du signal cellulaire (5G nécessaire pour la télé-opération) et GNSS doit être assurée (ce qui peut nécessiter l'installation d'antennes en zones blanches et répéteurs GNSS dans les zones boisées ou tunnels de >100m).

Dans son usage au sein du service chaque véhicule serait amené à parcourir de l'ordre de 50 000 km par an (hypothèse de 200 km/ jour) pour une durée de roulage annuelle de l'ordre de 2500h. Afin de stocker les véhicules en dehors de leur utilisation, assurer l'entretien et la recharge des batteries, deux dépôts sont nécessaires sur le territoire de la CAPS chacun disposant de 100 places équipées de bornes de recharges.

Le Tech AD provider envoie au véhicule des mises à jour logiciel (1Go/mois) et des mises à jour de la carte (100Mo/jour) ponctuellement, via le Wifi au dépôt. La carte est de qualité HD (non 3D) et la localisation du véhicule nécessite, en plus du signal GNSS, la réception d'une correction RTK (? Mo/s) par réseau cellulaire en continu au cours du roulage. A l'inverse le véhicule transfère au Tech AD provider le log des points singuliers mal gérés (arrêts, erreurs carto, incident), via Wifi au dépôt (1Go/j - wifi).

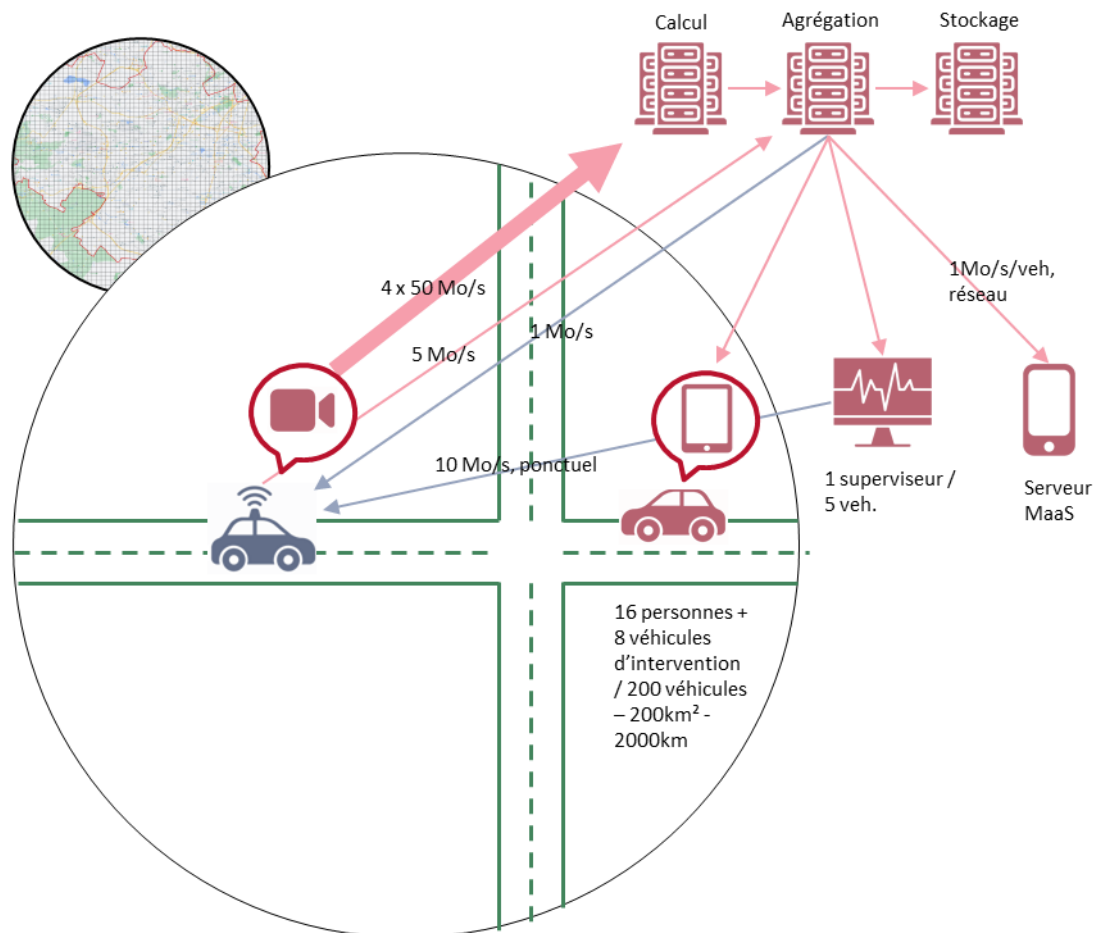


Supervision à distance et équipe terrain

La supervision communique au véhicule des informations passagers et des itinéraires alternatifs le cas échéant (<1Mo/s - cell). La reprise en main, lorsqu'elle est nécessaire, est réalisée à distance (transmission de consignes de trajectoire – <10Mo/s – cell et réception depuis le véhicule du flux vidéo en temps réel et le cas échéant les flux des caméras débarquées à proximité).

Le véhicule communique à la supervision sa position et l'état des systèmes (monitoring technique – <5Mo/s - cell) ainsi que des informations sur l'état et le nombre de passagers. Une partie de ces informations (1Mo/s) alimente le MaaS qui fournit aux utilisateurs des données synthétiques en temps quasi-réel (données de types navigation)

De plus, une vidéo-surveillance à distance est assurée grâce au streaming continu de vidéos depuis les caméras internes et externes (4x50Mo/s). Les données brutes sont traitées par des calculateurs au PCC (data centre interne) afin de générer des alertes (pas de redondance - 1500W/100 caméras) superviseur. L'agrégation est réalisée sur des serveurs Cloud (service externalisé). Puis l'ensemble des données brutes et traitées sont stockées dans les serveurs de stockage dans le Cloud (service externalisé) (30j pour réclamations éventuelles). Redondance inhérente au Cloud dans cette partie.



Connectivité et perception débarquée :

La connectivité de courte portée aux intersections avec feux (I2V) permet le franchissement en sécurité. L'ensemble des feux de la CAPS (env 1/km² pour 2000 km, environ 200 au total -> 1/10 km) sont connectés (contrôleur de carrefour + UBR « de sécurité ») et communiquent aux véhicules leur état (<10Mo/s) via les UBR. De plus si des barrières existent sur les voies empruntées (par exemple au dépôt), elles doivent également être connectées.

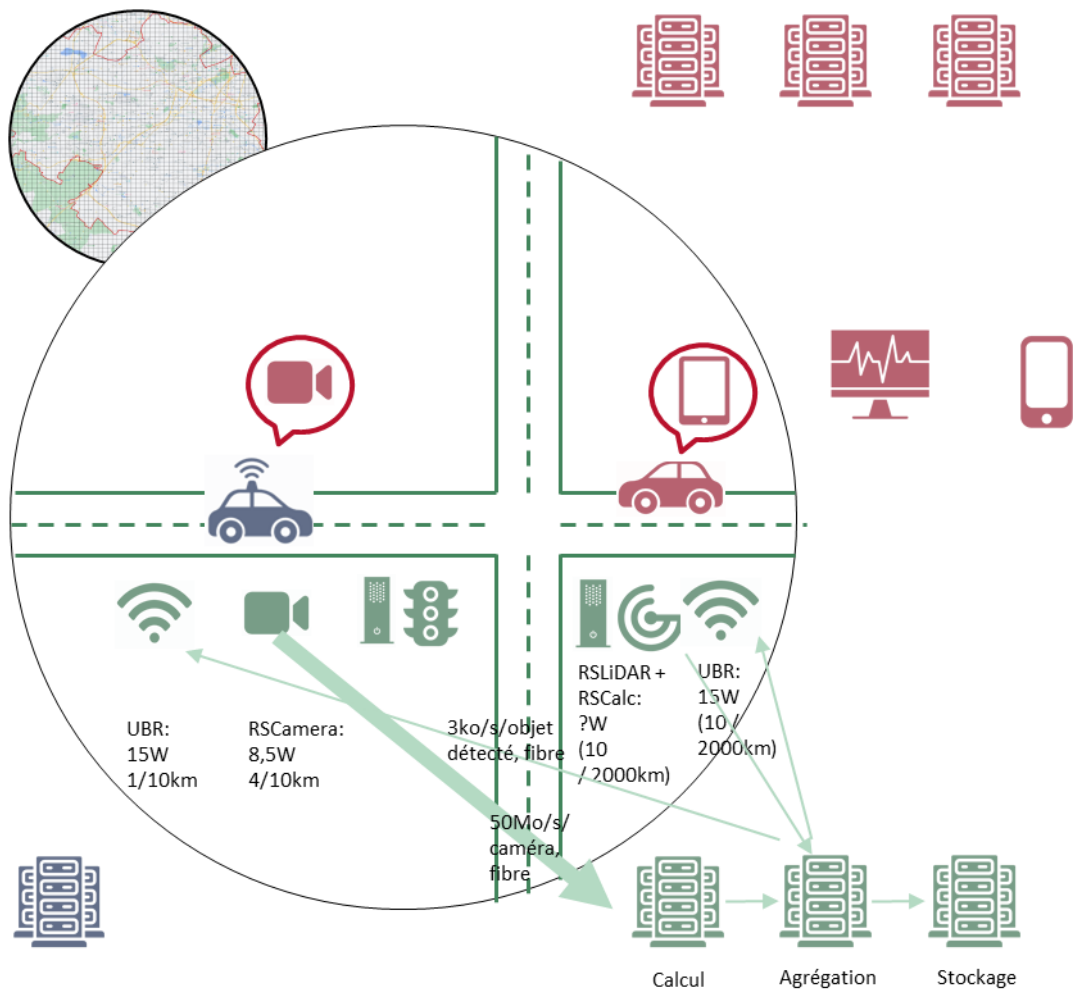
Les caméras débarquées permettent de détecter de manière anticipée et en cas de faible visibilité les piétons et 2-roues aux intersections avec feux (4 caméras par intersection). Les LiDARs débarqués détectent les véhicules aux insertions difficiles (1 par insertion) sur les voies rapides (environ 10 / 2000 km). L'anticipation vise à réduire les freinages et augmenter ainsi la performance du service.

Les données brutes issues des caméras sont transmises par fibre puis traitées par les calculateurs redondés (2 x 1500W/100 caméras) du gestionnaire de trafic. Les informations produites sont rassemblées au sein du serveur d'agrégation redondé (2x500W pour l'ensemble des source agrégées listées dans le scénario : 200 feux connectés, 8 calculateurs traitant les données des caméras, informations issues des véhicules et info trafic), qui « redescend » des « tracking-lists » aux UBRs (1

par intersection et insertion – environ 200+10 pour 2000 km de voies) pour diffusion (volume dépend du trafic, il faut environ 3ko/s/objet détecté et l'ordre de grandeur est de 300 objets dans un rayon de perception de 100m). Tandis que les LiDARs disposent de leur propre IA intégrée et seules les données traitées remontent au serveur d'agrégation. Enfin l'ensemble des données vidéo brutes et des informations produites est stockée dans le serveur de stockage non redondé pendant 7j (en réalité 30 jours, en cas de réclamation).

Les serveurs de calcul, d'agrégation des données et de stockage sont gérés par le gestionnaire de trafic en interne (data centre interne).

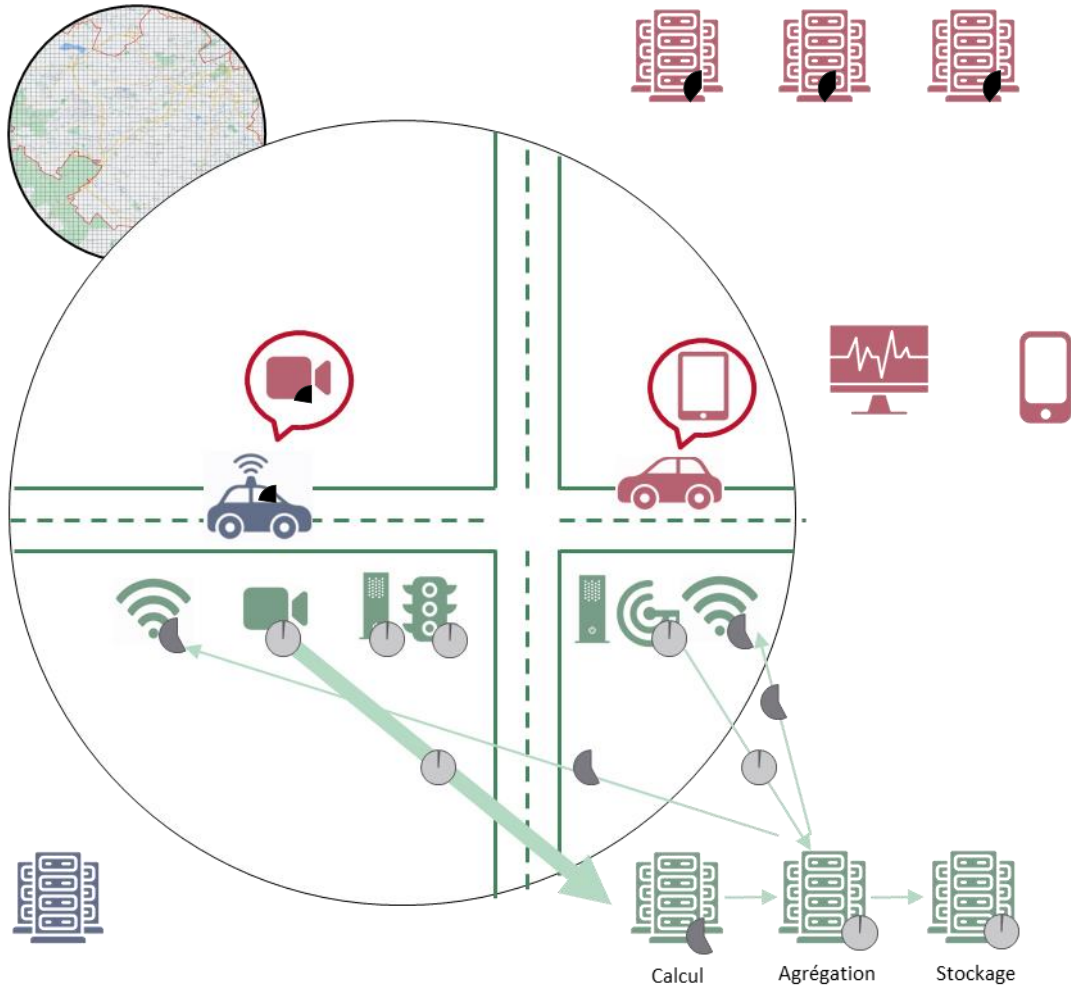
La communication entre véhicules (V2V) de courte portée vise le confort en partageant des informations d'incidents en amont de la voie (<1Mo/s – via OBU ou alternativement en CV2X 5G). De même le gestionnaire de trafic communique des informations (I2V) sur les incidents, travaux et fermetures de voies aux véhicules pour améliorer le confort et permettre de contourner les voies impraticables (<1Mo/s - cellulaire). Le véhicule à son tour communique (V2I) au gestionnaire des informations d'incidents (<1Mo/s)



Ces équipements sont utilisés :

- Par l'ensemble du trafic (feux, contrôleurs, caméras, LiDARs, transfert de données caméras/LiDARs-serveurs, serveur d'agrégation, serveur de stockage)

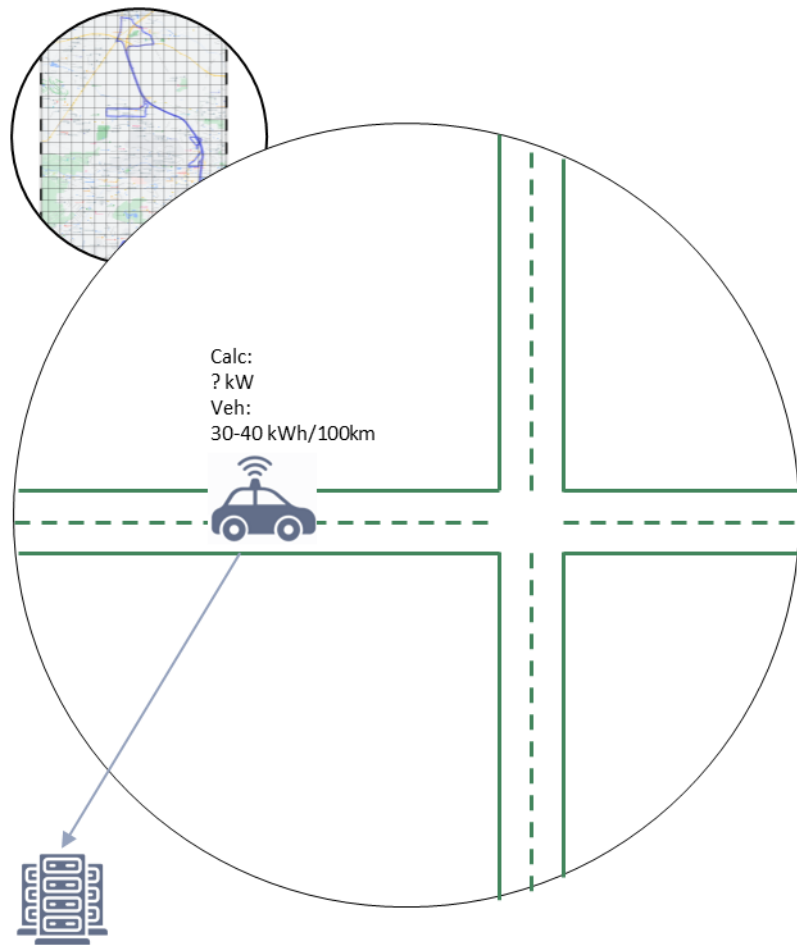
- ☛ - Ou par l'ensemble des véhicules connectés (UBRs, serveur de calcul, transfert de « tracking lists » depuis le serveur d'agrégation jusqu'aux UBRs))
- ☛ - Par le véhicule seul (équipements du véhicule, dont les caméras de supervision embarquées)
- ☛ - Par l'ensemble des véhicules du service autonome (équipements de supervision).



4.2.2 Scénario ambitieux navette/minicar

Dans le deuxième scénario le véhicule est un minicar automatisé de niveau 4 (capteurs + 2 calculateurs + « boîte noire » + OBU + IHM (écrans, interphonie)) sans safety driver, circulant sur un itinéraire fixe (ligne d'environ 15km dont 7 km sur la N118) cartographiés en HD (2-5Go/km) et circulés à l'avance. Il se déplace en trafic mixte, à la vitesse du trafic environnant, en mode autonome 100% du temps. La durée de vie du véhicule est de 4 à 8 ans (le 4 est faisable techniquement à 2030. Le 8 est désirable à 2030 pour les business models.)

Le véhicule transfère en continu au Tech AD provider des données de télémétrie et de diagnostic, des informations de maintenance (? - cell).

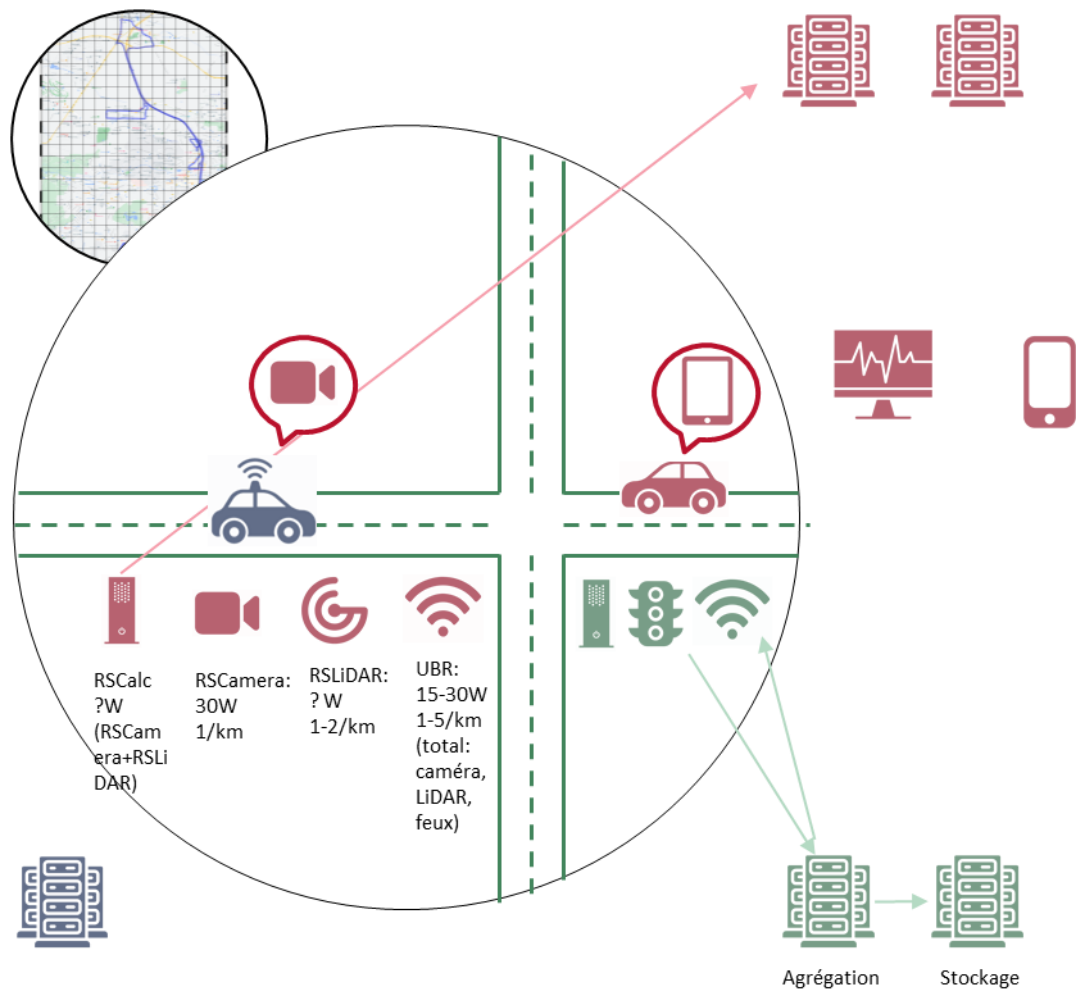


Supervision à distance et équipe terrain

La supervision communique au véhicule des informations voyageurs ainsi que des consignes de mission en cas de modification (? - cell). L'interphonie (? – voix sur IP) permet d'assurer le lien avec les passagers. La supervision peut intervenir pour valider des manœuvres à distance (? – cell: consigne + réception flux vidéo depuis le véhicule) et effectuer le réglage des paramètres véhicule.

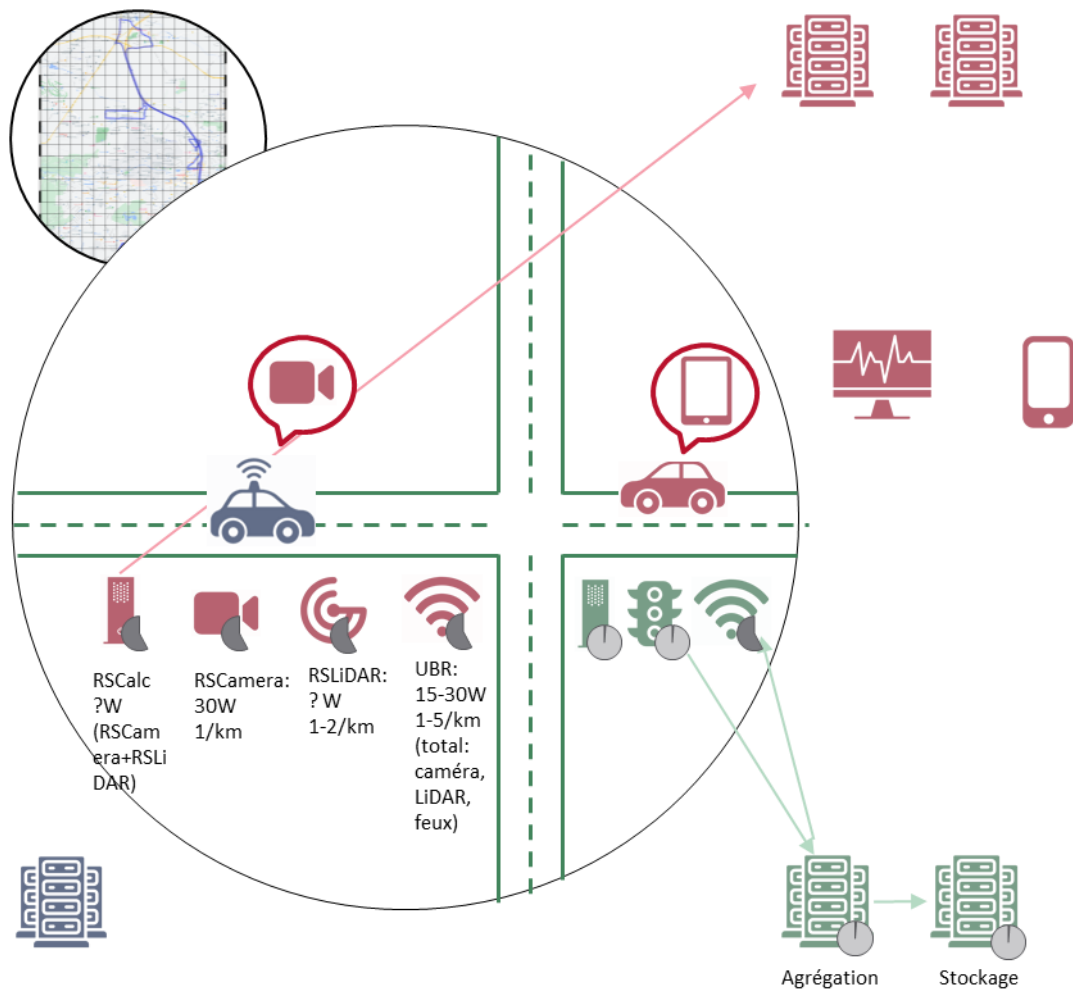
Le véhicule communique à la supervision sa position et l'état des systèmes ainsi que des alertes et la communication voyageurs en cas de besoin (interphonie).

De plus, une vidéo-surveillance à distance est assurée grâce au streaming de vidéos depuis les caméras internes et externes (6-7), cependant le streaming est réalisé lorsque des alertes sont générées par le véhicule. La supervision est assurée par des postes éloignés et s'appuie sur la disponibilité des données nécessaires (agrégation) dans le Cloud.



Ces équipements sont utilisés:

- - Par l'ensemble du trafic (feux, contrôleurs, serveur d'agrégation, serveur de stockage)
- - Ou par l'ensemble des véhicules connectés (UBRs, caméras, LiDARs, calculateurs débarqués)
- Par le véhicule automatisé étudié (équipements du véhicules et caméras de supervision embarquées)
- Par l'ensemble des véhicules automatisés du service (éléments de supervision).

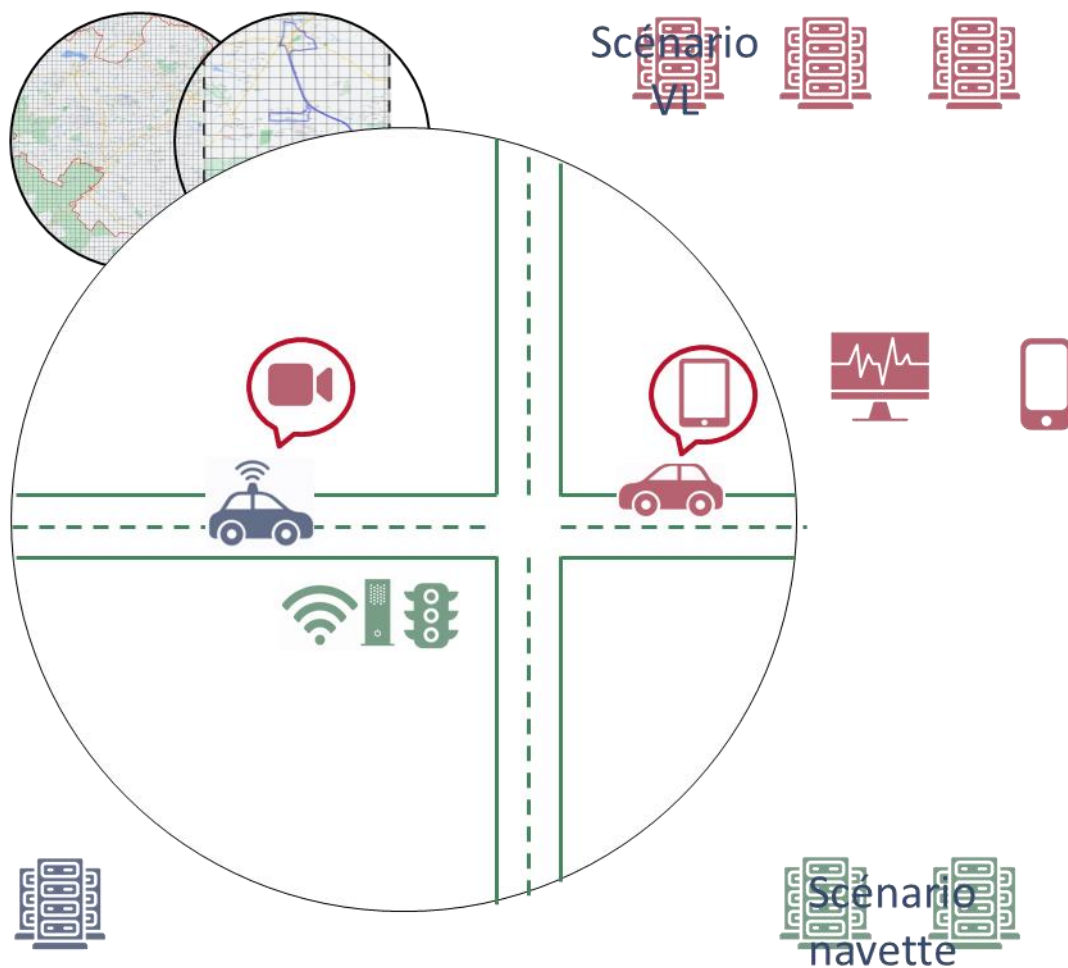


4.2.3 Scénario minimaliste VL/Minicar

Le scénario minimaliste pour le service de véhicules légers et des minicars sont similaires. Ils diffèrent des scénarios ambitieux par leurs hypothèses pour la supervision et l'infrastructure :

Côté supervision : il n'y a pas de reprises en main ou validation des manœuvres à distance (donc pas d'envois de consignes ni de réception de flux vidéos associés). Les interventions reposent sur les équipes de terrain (avec des conséquences pour la qualité de service).

Côté connectivité : pas de V2V, pas V2I, pas de perception débarquée et pas de I2V de longue portée (incidents). Il n'y a donc pas de perception débarquée (avec des conséquences sur la performance du service), seule la connectivité aux intersections est nécessaire pour la sécurité.



4.2.4 Synthèse et discussion des scénarios

On retrouve des principes communs entre les systèmes techniques associés aux véhicules légers et aux minicar (le scénario minimaliste est quasiment identique, les principales fonctions du scénario ambitieux sont les mêmes).

Il y a cependant des différences de technologie, notamment pour le traitement des données de perception débarquée (localisées vs centralisées) qui se traduit par un arbitrage entre la consommation d'énergie des équipements et le transfert de données brutes.

Des différences sont également liées au cas d'usage : la densité d'équipements, la gestion des données de perception débarquée diffèrent. Les équipements sont plus denses pour les services sur itinéraires prédéfini. Les informations issues de la perception débarquée est gérée par la supervision service dans le cas du service sur itinéraire vs gestionnaire trafic dans le cas du service diffus.

Les premiers ordres de grandeurs des caractéristiques des équipements et flux de données ont été récoltés (cf partie 4.3 Recueil des données pour le scénario VL ambitieux) mais il s'agit d'un premier ordre de grandeur devant être affiné.

Certains paramètres de contexte ont fait débat, comme lors des entretiens présentés dans la partie 2.2.2 : l'horizon temporel (2030 ou plus tard, 2040) de la maturité technologique des solutions

envisagées (mais il peut aussi être discuté à l'aune des besoins d'équipement de l'infrastructure) ainsi que la part des véhicules connectés dans le trafic global à cet horizon (40-60% ou moins?).

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.

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

Scénario	Valeur/indication issue de l'atelier Systèmes Techniques	Valeur retenue pour la modélisation ACV
VL-ambitieux	1500 (total tout équipement) – dont environ 25kg d'équipements, 350 kg batterie, 10kg batterie de secours = 1115kg	1115 (reprise des hypothèses issues de l'atelier)
VL - minimaliste	1500 (total tout équipement) – dont environ 25kg d'équipements, 350 kg batterie, 10kg batterie de secours = 1115kg	1115 (reprise des hypothèses issues de l'atelier)

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).

Scénario	Valeur/indication issue de l'atelier Systèmes Techniques	Valeur retenue pour la modélisation ACV
VL - ambitieux	400 000	400 000 (reprise de l'hypothèse de l'atelier)
VI - minimaliste	400 000	400 000 (reprise de l'hypothèse de l'atelier)

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.

Scénario	Valeur/indication issue de l'atelier Systèmes Techniques	Valeur retenue pour la modélisation ACV
VL - ambitieux	20 (équipements compris, moyenne sur tout itinéraire) -> environ 2 kW d'équipements -> 20-2*100/56=16,4kWh/100 km hors équipement (sans compter les écrans IHM et la boîte noire non estimés)	Pour les besoins de modélisation tout est assimilé au contexte autoroutier, on prendra une estimation de 16,4kWh/100 km pour le parcours mixte en périurbain. Cependant cela exclut les besoins de refroidissement supplémentaires (compter 77W pour

		chaque 100W installés, Lin 2018) et l'économie d'énergie due à l'éco-conduite automatisée.
VL - minimaliste	20 (équipements compris, moyenne sur tout itinéraire) -> environ 2 kW d'équipements -> 20-2*100/56=16,4kWh/100 km hors équipement (sans compter les écrans IHM et la boîte noire non estimés)	Pour les besoins de modélisation tout est assimilé au contexte autoroutier, on prendra une estimation de 16,4kWh/100 km pour le parcours mixte en périurbain. Cependant cela exclut les besoins de refroidissement supplémentaires (compter 77W pour chaque 100W installés, Lin 2018) et l'économie d'énergie due à l'éco-conduite automatisée.

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

Scénario	Valeur/indication issue de l'atelier Systèmes Techniques	Valeur retenue pour la modélisation ACV
VL - ambitieux	20 (équipements compris, moyenne sur tout itinéraire)	NA (14.25) – pour les besoins de modélisation tout est assimilé au contexte autoroutier
VL - minimaliste	20 (équipements compris, moyenne sur tout itinéraire)	NA (14.25) – pour les besoins de modélisation tout est assimilé au contexte autoroutier

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

Scénario	Valeur/indication issue de l'atelier Systèmes Techniques	Valeur retenue pour la modélisation ACV
VL - ambitieux	20 (équipements compris, moyenne sur tout itinéraire)	NA (17.5) – pour les besoins de modélisation tout est assimilé au contexte autoroutier
VL - minimaliste	20 (équipements compris, moyenne sur tout itinéraire)	NA (17.5) – pour les besoins de modélisation tout est assimilé au contexte autoroutier

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

Scénario	Valeur/indication issue de l'atelier Systèmes Techniques	Valeur retenue pour la modélisation ACV
VL – ambitieux	NA	NA (14.25) – pour les besoins de modélisation tout est assimilé au contexte autoroutier

VL – minimaliste	NA	NA (14.25) – pour les besoins de modélisation tout est assimilé au contexte autoroutier
------------------	----	---

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

Scénario	Valeur/indication issue de l'atelier Systèmes Techniques	Valeur retenue pour la modélisation ACV
VL - ambitieux	350 (capacité 50 kWh – autonomie 10h) +10 de batterie de secours	360 (reprise des hypothèses de l'atelier)
VL - minimaliste	350 (capacité 50 kWh – autonomie 10h) +10 de batterie de secours	360 (reprise des hypothèses de l'atelier)

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

Scénario	Valeur/indication issue de l'atelier Systèmes Techniques	Valeur retenue pour la modélisation ACV
VL - ambitieux	« usuel »	0.9 – hypothèse reprise de Gawron et al. 2018
VL - minimaliste	« usuel »	0.9 – hypothèse reprise de Gawron et al. 2018

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

Scénario	Valeur/indication issue de l'atelier Systèmes Techniques	Valeur retenue pour la modélisation ACV
VL - ambitieux	400 000	400 000 (reprise de l'hypothèse de l'atelier)
VL - minimaliste	400 000	400 000 (reprise de l'hypothèse de l'atelier)

CameraWeight

(kg) Poids camera.

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

Scénario	Valeur/indication issue de l'atelier Systèmes Techniques	Valeur retenue pour la modélisation ACV
VL - ambitieux	0.1 0.5 pour caméras de supervision embarquées)	$0.2 = (12 * 0.1 + 4 * 0.5) / 16$ poids moyen d'une caméra embarquée à partir des hypothèses de l'atelier

VL - minimaliste	0.1 0.5 pour caméras de supervision embarquées)	$0.16 = (12 \cdot 0.1 + 2 \cdot 0.5) / 14$ poids moyen d'une caméra embarquée à partir des hypothèses de l'atelier
------------------	---	--

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.

Scénario	Valeur/indication issue de l'atelier Systèmes Techniques	Valeur retenue pour la modélisation ACV
VL - ambitieux	NR 8.5 pour la caméra de supervision embarquée	$3.7 = (12 \cdot 2.1 + 4 \cdot 8.5) / 16$ consommation moyenne d'une caméra embarquée à partir de l'hypothèse reprise de Gawron et al 2018 et de l'hypothèse de l'atelier
VL - minimaliste	NR 8.5 pour la caméra de supervision embarquée	$3.0 = (12 \cdot 2.1 + 2 \cdot 8.5) / 14$ consommation moyenne d'une caméra embarquée à partir de l'hypothèse reprise de Gawron et al 2018 et de l'hypothèse de l'atelier

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

Scénario	Valeur/indication issue de l'atelier Systèmes Techniques	Valeur retenue pour la modélisation ACV
VL - ambitieux	20 000 h 8 ans pour la caméra de supervision embarquée (option de rénov à mi-vie)	8 (test éventuel à 4) reprise des hypothèses de l'atelier
VL - minimaliste	20 000 h 8 ans pour la caméra de supervision embarquée (option de rénov à mi-vie)	8 (test éventuel à 4) reprise des hypothèses de l'atelier

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

Scénario	Valeur/indication issue de l'atelier Systèmes Techniques	Valeur retenue pour la modélisation ACV
VL - ambitieux	0.5	0.83 – référence Velodyne Puck
VL - minimaliste	0.5	0.83 – référence Velodyne Puck

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

Scénario	Valeur/indication issue de l'atelier Systèmes Techniques	Valeur retenue pour la modélisation ACV
VL - ambitieux	NR	8 – référence Velodyne Puck
VL - minimaliste	NR	8 – référence Velodyne Puck

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

Scénario	Valeur/indication issue de l'atelier Systèmes Techniques	Valeur retenue pour la modélisation ACV
VL - ambitieux	20 000 h (option de rénov à mi-vie)	8 (test éventuel à 4) reprise des hypothèses de l'atelier
VL - minimaliste	20 000 h (option de rénov à mi-vie)	8 (test éventuel à 4) reprise des hypothèses de l'atelier

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)

Scénario	Valeur/indication issue de l'atelier Systèmes Techniques	Valeur retenue pour la modélisation ACV
VL - ambitieux	0.5	0.925 – référence Velodyne Ultra Puck
VL - minimaliste	0.5	0.925 – référence Velodyne Ultra Puck

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)

Scénario	Valeur/indication issue de l'atelier Systèmes Techniques	Valeur retenue pour la modélisation ACV
VL - ambitieux	NR	10 – référence Velodyne Ultra Puck
VL - minimaliste	NR	10 – référence Velodyne Ultra Puck

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

Scénario	Valeur/indication issue de l'atelier Systèmes Techniques	Valeur retenue pour la modélisation ACV
VL - ambitieux	20 000 h (option de rénov à mi-vie)	8 (test éventuel à 4) reprise des hypothèses de l'atelier
VL - minimaliste	20 000 h (option de rénov à mi-vie)	8 (test éventuel à 4) reprise des hypothèses de l'atelier

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

Scénario	Valeur/indication issue de l'atelier Systèmes Techniques	Valeur retenue pour la modélisation ACV
VL - ambitieux	0.05	0.05 reprise de l'hypothèse de l'atelier
VL - minimaliste	0.05	0.05 reprise de l'hypothèse de l'atelier

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.

Scénario	Valeur/indication issue de l'atelier Systèmes Techniques	Valeur retenue pour la modélisation ACV
VL - ambitieux	NR	0.13 reprise de l'hypothèse de Gawron et al. 2018
VL - minimaliste	NR	0.13 reprise de l'hypothèse de Gawron et al. 2018

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

Scénario	Valeur/indication issue de l'atelier Systèmes Techniques	Valeur retenue pour la modélisation ACV
VL - ambitieux	20 000 h (option de rénov à mi-vie)	8 (test éventuel à 4) reprise des hypothèses de l'atelier
VL - minimaliste	20 000 h (option de rénov à mi-vie)	8 (test éventuel à 4) reprise des hypothèses de l'atelier

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.

Scénario	Valeur/indication issue de l'atelier Systèmes Techniques	Valeur retenue pour la modélisation ACV
VL - ambitieux	0.2 à 0.3	0.285 reprise de l'hypothèse de Gawron et al. 2018
VL - minimaliste	0.2 à 0.3	0.285 reprise de l'hypothèse de Gawron et al. 2018

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.

Scénario	Valeur/indication issue de l'atelier Systèmes Techniques	Valeur retenue pour la modélisation ACV
VL - ambitieux	NR	4 reprise de l'hypothèse de Gawron et al. 2018
VL - minimaliste	NR	4 reprise de l'hypothèse de Gawron et al. 2018

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

Scénario	Valeur/indication issue de l'atelier Systèmes Techniques	Valeur retenue pour la modélisation ACV
VL - ambitieux	20 000 h (option de rénov à mi-vie)	8 (test éventuel à 4) reprise des hypothèses de l'atelier
VL - minimaliste	20 000 h (option de rénov à mi-vie)	8 (test éventuel à 4) reprise des hypothèses de l'atelier

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

Scénario	Valeur/indication issue de l'atelier Systèmes Techniques	Valeur retenue pour la modélisation ACV
VL - ambitieux	0.5	0.5 reprise de l'hypothèse de l'atelier
VL - minimaliste	0.5	0.5 reprise de l'hypothèse de l'atelier

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.

Scénario	Valeur/indication issue de l'atelier Systèmes Techniques	Valeur retenue pour la modélisation ACV
VL - ambitieux	NR	2 reprise de l'hypothèse de Gawron et al. 2018
VL - minimaliste	NR	2 reprise de l'hypothèse de Gawron et al. 2018

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

Scénario	Valeur/indication issue de l'atelier Systèmes Techniques	Valeur retenue pour la modélisation ACV
VL - ambitieux	20 000 h (option de rénov à mi-vie)	8 (test éventuel à 4) reprise des hypothèses de l'atelier
VL - minimaliste	20 000 h (option de rénov à mi-vie)	8 (test éventuel à 4) reprise des hypothèses de l'atelier

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

Scénario	Valeur/indication issue de l'atelier Systèmes Techniques	Valeur retenue pour la modélisation ACV
VL - ambitieux	NR	2.654 reprise de l'hypothèse de Gawron et al. 2018
VL - minimaliste	NR	2.654 reprise de l'hypothèse de Gawron et al. 2018

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.

Scénario	Valeur/indication issue de l'atelier Systèmes Techniques	Valeur retenue pour la modélisation ACV
VL - ambitieux	NR	6 reprise de l'hypothèse de Gawron et al. 2018
VL - minimaliste	NR	6 reprise de l'hypothèse de Gawron et al. 2018

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

Scénario	Valeur/indication issue de l'atelier Systèmes Techniques	Valeur retenue pour la modélisation ACV
VL - ambitieux	20 000 h (option de rénov à mi-vie)	8 (test éventuel à 4) reprise des hypothèses de l'atelier
VL - minimaliste	20 000 h (option de rénov à mi-vie)	8 (test éventuel à 4) reprise des hypothèses de l'atelier

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.

Scénario	Valeur/indication issue de l'atelier Systèmes Techniques	Valeur retenue pour la modélisation ACV
VL - ambitieux	2	2 reprise de l'hypothèse de l'atelier
VL - minimaliste	2	2 reprise de l'hypothèse de l'atelier

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)

Scénario	Valeur/indication issue de l'atelier Systèmes Techniques	Valeur retenue pour la modélisation ACV
VL - ambitieux	1000	1000 reprise de l'hypothèse de l'atelier (paramètre sensible, autres valeurs à tester)
VL - minimaliste	1000	1000 reprise de l'hypothèse de l'atelier (paramètre sensible, autres valeurs à tester)

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

Scénario	Valeur/indication issue de l'atelier Systèmes Techniques	Valeur retenue pour la modélisation ACV
----------	--	---

VL - ambitieux	20 000 h (option de rénov à mi-vie)	8 (test éventuel à 4) reprise des hypothèses de l'atelier
VL - minimaliste	20 000 h (option de rénov à mi-vie)	8 (test éventuel à 4) reprise des hypothèses de l'atelier

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.

Scénario	Valeur/indication issue de l'atelier Systèmes Techniques	Valeur retenue pour la modélisation ACV
VL - ambitieux	ND	0 Hypothèse de capteurs intégrés
VL - minimaliste	ND	0 Hypothèse de capteurs intégrés

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

Scénario	Valeur/indication issue de l'atelier Systèmes Techniques	Valeur retenue pour la modélisation ACV
VL - ambitieux	ND	8 Hypothèse de capteurs intégrés
VL - minimaliste	ND	8 Hypothèse de capteurs intégrés

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.

Scénario	Valeur/indication issue de l'atelier Systèmes Techniques	Valeur retenue pour la modélisation ACV
VL - ambitieux	ND (2+2 : redondance actionneurs de freinage et direction)	4 Hypothèse reprise de l'atelier
VL - minimaliste	ND (2+2 : redondance actionneurs de freinage et direction)	4 Hypothèse reprise de l'atelier

Eléments 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 :

Scénario	Valeur/indication issue de l'atelier Systèmes Techniques	Valeur retenue pour la modélisation ACV
VL - ambitieux	1	

VL - minimaliste	1	
------------------	---	--

BboxPower

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

Ordres de grandeur issus de la littérature :

Scénario	Valeur/indication issue de l'atelier Systèmes Techniques	Valeur retenue pour la modélisation ACV
VL - ambitieux	NR	
VL - minimaliste	NR	

LSBbox

(an) Durée de vie de la « Boite 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 :

Scénario	Valeur/indication issue de l'atelier Systèmes Techniques	Valeur retenue pour la modélisation ACV
VL - ambitieux	20 000 h (option de rénov à mi-vie)	
VL - minimaliste	20 000 h (option de rénov à mi-vie)	

HMIScreenWeight

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

Ordres de grandeur issus de la littérature :

Scénario	Valeur/indication issue de l'atelier Systèmes Techniques	Valeur retenue pour la modélisation ACV
VL - ambitieux	0.5	
VL - minimaliste	0.5	

HMIScreenPower

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

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

Scénario	Valeur/indication issue de l'atelier Systèmes Techniques	Valeur retenue pour la modélisation ACV
VL - ambitieux	NR	
VL - minimaliste	NR	

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 :

Scénario	Valeur/indication issue de l'atelier Systèmes Techniques	Valeur retenue pour la modélisation ACV
VL - ambitieux	20 000 h (option de rénov à mi-vie)	
VL - minimaliste	20 000 h (option de rénov à mi-vie)	

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

Scénario	Valeur/indication issue de l'atelier Systèmes Techniques	Valeur retenue pour la modélisation ACV
VL - ambitieux	12 (+4 supervision) système Mobileye	16 Reprise des hypothèses de l'atelier
VL - minimaliste	12 (+2 supervision)	14 Reprise des hypothèses de l'atelier

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

Scénario	Valeur/indication issue de l'atelier Systèmes Techniques	Valeur retenue pour la modélisation ACV
VL - ambitieux	4	4 Reprise des hypothèses de l'atelier
VL - minimaliste	4	4 Reprise des hypothèses de l'atelier

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.

Scénario	Valeur/indication issue de l'atelier Systèmes Techniques	Valeur retenue pour la modélisation ACV
VL - ambitieux	2-3	2 Reprise des hypothèses de l'atelier (test possible à 3)
VL - minimaliste	2-3	2 Reprise des hypothèses de l'atelier (test possible à 3)

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.

Scénario	Valeur/indication issue de l'atelier Systèmes Techniques	Valeur retenue pour la modélisation ACV
VL - ambitieux	10	10 Reprise des hypothèses de l'atelier
VL - minimaliste	10	10 Reprise des hypothèses de l'atelier

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.

Scénario	Valeur/indication issue de l'atelier Systèmes Techniques	Valeur retenue pour la modélisation ACV
VL - ambitieux	5 radars 360 + 2 side radars	7 Reprise des hypothèses de l'atelier
VL - minimaliste	5 radars 360 + 2 side radars	7 Reprise des hypothèses de l'atelier

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.

Scénario	Valeur/indication issue de l'atelier Systèmes Techniques	Valeur retenue pour la modélisation ACV
VL - ambitieux	1	1 Reprise des hypothèses de l'atelier
VL - minimaliste	1	1 Reprise des hypothèses de l'atelier

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.

Scénario	Valeur/indication issue de l'atelier Systèmes Techniques	Valeur retenue pour la modélisation ACV
VL - ambitieux	1	1 Reprise des hypothèses de l'atelier
VL - minimaliste	1	1 Reprise des hypothèses de l'atelier

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

Scénario	Valeur/indication issue de l'atelier Systèmes Techniques	Valeur retenue pour la modélisation ACV
VL - ambitieux	2	2 Reprise des hypothèses de l'atelier
VL - minimaliste	2	2 Reprise des hypothèses de l'atelier

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.

Scénario	Valeur/indication issue de l'atelier Systèmes Techniques	Valeur retenue pour la modélisation ACV
VL - ambitieux	ND (1 : total redondance actionneurs freinage et direction)	1 Reprise des hypothèses de l'atelier

VL - minimaliste	ND (1 : total redondance actionneurs freinage et direction)	1 Reprise des hypothèses de l'atelier
------------------	---	---------------------------------------

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 :

Scénario	Valeur/indication issue de l'atelier Systèmes Techniques	Valeur retenue pour la modélisation ACV
VL - ambitieux	1	
VL - minimaliste	1	

NbHMIScreen

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

Ordres de grandeur issus de la littérature :

Scénario	Valeur/indication issue de l'atelier Systèmes Techniques	Valeur retenue pour la modélisation ACV
VL - ambitieux	3	
VL - minimaliste	3	

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

Scénario	Valeur/indication issue de l'atelier Systèmes Techniques	Valeur retenue pour la modélisation ACV
VL - ambitieux	ND	0 (pour les besoins de modélisation tout assimilé au fonctionnement autoroutier)
VL - minimaliste	ND	0 (pour les besoins de modélisation tout assimilé au fonctionnement autoroutier)

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

Scénario	Valeur/indication issue de l'atelier Systèmes Techniques	Valeur retenue pour la modélisation ACV
VL - ambitieux	ND	0 (pour les besoins de modélisation tout assimilé au fonctionnement autoroutier)
VL - minimaliste	ND	0 (pour les besoins de modélisation tout assimilé au fonctionnement autoroutier)

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

Scénario	Valeur/indication issue de l'atelier Systèmes Techniques	Valeur retenue pour la modélisation ACV
VL - ambitieux	NA	0 (pour les besoins de modélisation tout assimilé au fonctionnement autoroutier)
VL - minimaliste	NA	0 (pour les besoins de modélisation tout assimilé au fonctionnement autoroutier)

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.

Scénario	Valeur/indication issue de l'atelier Systèmes Techniques	Valeur retenue pour la modélisation ACV
VL - ambitieux	NA	NA (0)
VL - minimaliste	NA	NA (0)

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

Scénario	Valeur/indication issue de l'atelier Systèmes Techniques	Valeur retenue pour la modélisation ACV
VL - ambitieux	NR	56 reprise des hypothèses COPERT en contexte rural pour les voitures particulières (pour les besoins de modélisation, tout assimilé au contexte autoroutier). Paramètre sensible à tester entre 20 et 60km/h
VL - minimaliste	NR	56 reprise des hypothèses COPERT en contexte rural pour les voitures particulières (pour les besoins de modélisation, tout assimilé au contexte autoroutier). Paramètre sensible à tester entre 20 et 60km/h

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

Scénario	Valeur/indication issue de l'atelier Systèmes Techniques	Valeur retenue pour la modélisation ACV
VL-ambitieux	20	NA (23) (pour les besoins de modélisation, tout assimilé au contexte autoroutier)
VL - minimaliste	20	NA (23) (pour les besoins de modélisation, tout assimilé au contexte autoroutier)

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 (IFSTAR/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

Scénario	Valeur/indication issue de l'atelier Systèmes Techniques	Valeur retenue pour la modélisation ACV
VL - ambitieux	60	NA (56) (pour les besoins de modélisation, tout assimilé au contexte autoroutier)
VL - minimaliste	60	NA (56) (pour les besoins de modélisation, tout assimilé au contexte autoroutier)

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

Scénario	Valeur/indication issue de l'atelier Systèmes Techniques	Valeur retenue pour la modélisation ACV
VL - ambitieux	NA	NA (10) (pour les besoins de modélisation, tout assimilé au contexte autoroutier)
VL – minimaliste	NA	NA (10) (pour les besoins de modélisation, tout assimilé au contexte autoroutier)

LSVehPF

(an) Durée de vie du véhicule.

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

Scénario	Valeur/indication issue de l'atelier Systèmes Techniques	Valeur retenue pour la modélisation ACV
VL - ambitieux	8	8 Reprise des hypothèses de l'atelier
VL - minimaliste	8	8 Reprise des hypothèses de l'atelier

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)

Scénario	Valeur/indication issue de l'atelier Systèmes Techniques	Valeur retenue pour la modélisation ACV
VL - ambitieux	Correction RTK – « usuel »	$2.4E-4 = 1/(400000/8/12)$ Estimation: (1Go de data par mois et utilisation de 400 000 km en 8 ans)
VL - minimaliste	Correction RTK – « usuel »	$2.4E-4 = 1/(400000/8/12)$ Estimation: (1Go de data par mois et utilisation de 400 000 km en 8 ans)

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)

Scénario	Valeur/indication issue de l'atelier Systèmes Techniques	Valeur retenue pour la modélisation ACV
VL - ambitieux	Carte HD transmise en Wifi (100Mo/jour)	$7.3E-4 = 100*365*8/400000/1000$ Estimation: (100Mo de data par jour et utilisation de 400 000 km en 8 ans)
VL - minimaliste	Carte HD transmise en Wifi (100Mo/jour)	$7.3E-4 = 100*365*8/400000/1000$ Estimation: (100Mo de data par jour et utilisation de 400 000 km en 8 ans)

IHMTemps

(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

Scénario	Valeur/indication issue de l'atelier Systèmes Techniques	Valeur retenue pour la modélisation ACV
VL - ambitieux	ND	0.5 Reprise de l'hypothèse de l'atelier de 30min de télé-opération par jour
VL - minimaliste	ND	2 Reprise de l'hypothèse de l'atelier d'interventions quotidiennes et estimation du temps d'intervention = $2000(\text{km de voies})/8 (\text{veh d'intervention})/2(\text{demi-distance en moyenne pour l'intervention})/60 (\text{km/h vitesse moyenne en périurbain})$

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-8Go). Et la taille de la clé est deux fois plus grande que le niveau de sécurité exigé. Donc (6,4E-8Go)

Scénario	Valeur/indication issue de l'atelier Systèmes Techniques	Valeur retenue pour la modélisation ACV
VL - ambitieux	ND	$6.4E-8$ Hypothèse sur le niveau de sécurité attendu
VL - minimaliste	ND	$6.4E-8$ Hypothèse sur le niveau de sécurité attendu

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.

Scénario	Valeur/indication issue de l'atelier Systèmes Techniques	Valeur retenue pour la modélisation ACV
VL - ambitieux	1 Go/j de log incidents transmis du véhicule au TechAD provider par Wifi au dépôt	1 Reprise de l'hypothèse de l'atelier
VL - minimaliste	1 Go/j de log incidents transmis du véhicule au TechAD provider par Wifi au dépôt	1 Reprise de l'hypothèse de l'atelier

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

Scénario	Valeur/indication issue de l'atelier Systèmes Techniques	Valeur retenue pour la modélisation ACV
VL - ambitieux	ND	1 Reprise de l'hypothèse de renouvellement du PKI du projet SCOOP
VL - minimaliste	ND	1 Reprise de l'hypothèse de renouvellement du PKI du projet SCOOP

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.

Scénario	Valeur/indication issue de l'atelier Systèmes Techniques	Valeur retenue pour la modélisation ACV
----------	--	---

VL - ambitieux	<1Mo/s (trafic et incidents)	$1*60*60/1000=3,6$ Reprise de l'hypothèse de l'atelier. Mais valeur sensible tester l'estimation à 0,001-0,010Go/h à partir d'apps de navigation.
VL - minimaliste	0 (pas de I2V incidents)	0 Reprise de l'hypothèse de l'atelier

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

Scénario	Valeur/indication issue de l'atelier Systèmes Techniques	Valeur retenue pour la modélisation ACV
VL - ambitieux	ND (voix sur IP) + <1Mo/s pour infos voyageurs et itinéraires alternatifs	0,03 (voix sur IP estimée à partir de conso d'app) + $1*60*60/1000=3,6$ reprise de l'hypothèse de l'atelier et hypothèse de transmission de ces informations uniquement pendant la durée de l'incident (cf IHMTemps). Mais valeur sensible tester l'estimation à 0,001-0,010Go/h à partir d'apps de navigation. (et ajuster IHMTemps pour transmission en continu)
VL - minimaliste	ND (voix sur IP) + <1Mo/s pour infos voyageurs et itinéraires alternatifs	0,03 (voix sur IP estimée à partir de conso d'app) + $1*60*60/1000=3,6$ reprise de l'hypothèse de l'atelier et hypothèse de transmission de ces informations uniquement pendant la durée de l'incident (cf IHMTemps). Mais valeur sensible tester l'estimation à 0,001-0,010Go/h à partir d'apps de navigation. (et ajuster IHMTemps pour transmission en continu).

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).

Scénario	Valeur/indication issue de l'atelier Systèmes Techniques	Valeur retenue pour la modélisation ACV
VL - ambitieux	0 (regroupé avec le monitoring)	0 reprise de l'hypothèse de l'atelier
VL - minimaliste	0 (regroupé avec le monitoring)	0 reprise de l'hypothèse de l'atelier

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

Scénario	Valeur/indication issue de l'atelier Systèmes Techniques	Valeur retenue pour la modélisation ACV
VL - ambitieux	0,2	0,2 Reprise de l'hypothèse de l'atelier
VL - minimaliste	0,2	0,2 Reprise de l'hypothèse de l'atelier

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.

Scénario	Valeur/indication issue de l'atelier Systèmes Techniques	Valeur retenue pour la modélisation ACV
VL - ambitieux	2 internes + 2 externes transmettant les données brutes en flux continu pour traitement au centre de supervision (génération d'alertes)	4 Reprise de l'hypothèse de l'atelier. Mais paramètre sensible, tester l'hypothèse de transmission uniquement pendant les incidents (génération d'alertes en interne sur le véhicule) = $4(\text{nb caméras}) * 0,5 (\text{durée incident/j}) * 365 * 8(\text{durée totale}) * \text{AvSpdAutorouteVeh} / 400000(\text{dist totale}) = 0,3 \text{ à } 0,9$ (0,8 dans l'hypothèse de référence de vitesse)
VL - minimaliste	2 internes transmettant les données brutes en flux continu pour traitement au centre de supervision (génération d'alertes)	2 Reprise de l'hypothèse de l'atelier. Mais paramètre sensible, tester l'hypothèse de transmission uniquement pendant les incidents (génération d'alertes en interne sur le véhicule) = $2(\text{nb caméras}) * 2 (\text{durée incident/j}) * 365 * 8(\text{durée totale}) * \text{AvSpdAutorouteVeh} / 400000(\text{dist totale}) = 0,6 \text{ à } 1,8$ (1,6 dans l'hypothèse de référence de vitesse)

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)

Scénario	Valeur/indication issue de l'atelier Systèmes Techniques	Valeur retenue pour la modélisation ACV
VL - ambitieux	Pour la télé-opération durant les incidents (30min/j) flux des 4 caméras de supervision, chacune à 50Mo/s (le reste regroupé avec le monitoring)	0 (le flux de données des caméras est inclu via les paramètres DataTempsVideo et NbCamSup)
VL - minimaliste	0 (pas de télé-opération, le reste regroupé avec le monitoring)	0 Reprise de l'hypothèse de l'atelier

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

Scénario	Valeur/indication issue de l'atelier Systèmes Techniques	Valeur retenue pour la modélisation ACV
----------	--	---

VL - ambitieux	50 MB/s (données brutes caméras de supervision embarquées)	50*60*60/1000=180 reprise de l'hypothèse de l'atelier. Cependant données sensible, tester valeurs entre 3 et 30 GB/h
VL - minimaliste	50 MB/s (données brutes caméras de supervision embarquées)	

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

Scénario	Valeur/indication issue de l'atelier Systèmes Techniques	Valeur retenue pour la modélisation ACV
VL - ambitieux	<5MB/s (flux vers supervision service)	5*60*60/1000=18 Reprise de l'hypothèse de l'atelier et hypothèse de même valeur vers le tech AD provider
VL - minimaliste	<5MB/s (flux vers supervision service)	5*60*60/1000=18 Reprise de l'hypothèse de l'atelier et hypothèse de même valeur vers le tech AD provider

Éléments 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

Scénario	Valeur/indication issue de l'atelier Systèmes Techniques	Valeur retenue pour la modélisation ACV
VL - ambitieux	1MB/s/veh = 3.6 Go/h/veh	
VL - minimaliste	1MB/s/veh = 3.6 Go/h/veh	

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

Scénario	Valeur/indication issue de l'atelier Systèmes Techniques	Valeur retenue pour la modélisation ACV
VL - ambitieux	Ordres de mission NR + 10Mo/s (téléopération 30 min par jour)	
VL - minimaliste	Ordres de mission NR (pas de téléopération)	

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 :

Scénario	Valeur/indication issue de l'atelier Systèmes Techniques	Valeur retenue pour la modélisation ACV
VL - ambitieux	1 Go/mois en Wifi au dépôt	
VL - minimaliste	1 Go/mois en Wifi au dépôt	

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 :

Scénario	Valeur/indication issue de l'atelier Systèmes Techniques	Valeur retenue pour la modélisation ACV
VL - ambitieux	16 pour 200 véhicules	
VL - minimaliste	16 pour 200 véhicules	

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 :

Scénario	Valeur/indication issue de l'atelier Systèmes Techniques	Valeur retenue pour la modélisation ACV
VL - ambitieux	1 par ETP	
VL - minimaliste	1 par ETP	

VehRoamVeh

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

Ordres de grandeur issus de la littérature :

Scénario	Valeur/indication issue de l'atelier Systèmes Techniques	Valeur retenue pour la modélisation ACV
VL - ambitieux	8 pour 200 véhicules	
VL - minimaliste	8 pour 200 véhicules	

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'OBU. Valeur à trouver à partir de refs techniques: (Référence poids: Neavia Lacroix)

Scénario	Valeur/indication issue de l'atelier Systèmes Techniques	Valeur retenue pour la modélisation ACV
VL - ambitieux	2.2	2.2 Reprise hypothèse de l'atelier
VL - minimaliste	2.2	2.2 Reprise hypothèse de l'atelier

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'OBU. Valeur à trouver à partir de refs techniques : Neavia Lacroix.

Scénario	Valeur/indication issue de l'atelier Systèmes Techniques	Valeur retenue pour la modélisation ACV
VL - ambitieux	15	15 Reprise de l'hypothèse de l'atelier
VL - minimaliste	15	15 Reprise de l'hypothèse de l'atelier

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

Scénario	Valeur/indication issue de l'atelier Systèmes Techniques	Valeur retenue pour la modélisation ACV
VL - ambitieux	10	10 Reprise de l'hypothèse de l'atelier
VL - minimaliste	10	10 Reprise de l'hypothèse de l'atelier

RSCameraWeight

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

Ordres de grandeur issus de la littérature : 1 Estimation

Scénario	Valeur/indication issue de l'atelier Systèmes Techniques	Valeur retenue pour la modélisation ACV
VL - ambitieux	0.5	0.5 Reprise de l'hypothèse de l'atelier
VL - minimaliste	NA	NA

RSCameraPower

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

Ordres de grandeur issus de la littérature : 15 Estimation

Scénario	Valeur/indication issue de l'atelier Systèmes Techniques	Valeur retenue pour la modélisation ACV
VL - ambitieux	8.5	8.5 Reprise de l'hypothèse de l'atelier
VL - minimaliste	NA	NA

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

Scénario	Valeur/indication issue de l'atelier Systèmes Techniques	Valeur retenue pour la modélisation ACV
VL - ambitieux	10 (à confirmer)	10 Reprise de l'hypothèse de l'atelier
VL - minimaliste	NA	NA

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

Scénario	Valeur/indication issue de l'atelier Systèmes Techniques	Valeur retenue pour la modélisation ACV
VL - ambitieux	2	0.925 Référence Velodyne
VL - minimaliste	NA	NA

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

Scénario	Valeur/indication issue de l'atelier Systèmes Techniques	Valeur retenue pour la modélisation ACV
VL - ambitieux	« usuelle avec ECU »	10 Référence Velodyne
VL - minimaliste	NA	NA

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.

Scénario	Valeur/indication issue de l'atelier Systèmes Techniques	Valeur retenue pour la modélisation ACV
----------	---	--

VL - ambitieux	10	10 Reprise de l'hypothèse de l'atelier
VL - minimaliste	NA	NA

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

Scénario	Valeur/indication issue de l'atelier Systèmes Techniques	Valeur retenue pour la modélisation ACV
VL - ambitieux	Seuls les LiDARs débarqués possèdent un calculateur associé - NR	4.4 Référence Velodyne
VL - minimaliste	NA	NA

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

Scénario	Valeur/indication issue de l'atelier Systèmes Techniques	Valeur retenue pour la modélisation ACV
VL - ambitieux	Seuls les LiDARs débarqués possèdent un calculateur associé - NR	34 Estimation à la journée
VL - minimaliste	NA	NA

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

Scénario	Valeur/indication issue de l'atelier Systèmes Techniques	Valeur retenue pour la modélisation ACV
VL - ambitieux	Seuls les LiDARs débarqués possèdent un calculateur associé – NR (10, cf LSRSLiDAR)	10 Reprise des hypothèses de durée de vie pour RSU
VL - minimaliste	NA	NA

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.

Scénario	Valeur/indication issue de l'atelier Systèmes Techniques	Valeur retenue pour la modélisation ACV
VL - ambitieux	>10-15 (à confirmer)	10 Reprise de l'hypothèse de l'atelier
VL - minimaliste	NA	NA

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...

Scénario	Valeur/indication issue de l'atelier Systèmes Techniques	Valeur retenue pour la modélisation ACV
VL - ambitieux	1500	1500 Reprise de l'hypothèse de l'atelier
VL - minimaliste	NA	NA

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.

Scénario	Valeur/indication issue de l'atelier Systèmes Techniques	Valeur retenue pour la modélisation ACV
VL - ambitieux	10	10 Reprise de l'hypothèse de l'atelier
VL - minimaliste	NA	NA

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.

Scénario	Valeur/indication issue de l'atelier Systèmes Techniques	Valeur retenue pour la modélisation ACV
VL - ambitieux	>10	10 Reprise de l'hypothèse de l'atelier
VL - minimaliste	>10	10 Reprise de l'hypothèse de l'atelier

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...

Scénario	Valeur/indication issue de l'atelier Systèmes Techniques	Valeur retenue pour la modélisation ACV
VL - ambitieux	500	500 Reprise de l'hypothèse de l'atelier
VL - minimaliste	500	500 Reprise de l'hypothèse de l'atelier

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.

Scénario	Valeur/indication issue de l'atelier Systèmes Techniques	Valeur retenue pour la modélisation ACV
VL - ambitieux	10	10 Reprise de l'hypothèse de l'atelier
VL - minimaliste	10	10 Reprise de l'hypothèse de l'atelier

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 µJ/bit

Scénario	Valeur/indication issue de l'atelier Systèmes Techniques	Valeur retenue pour la modélisation ACV
VL - ambitieux	5G nécessaire pour la télé-opération - ND	0.1622 Reprise de la valeur pour la 4G du rapport CEET – valeur 5G à trouver
VL - minimaliste	Réseaux existants - ND	0.1622 Reprise de la valeur pour la 4G du rapport CEET

Conversion micro-Joules en kWh:

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

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 µJ/bit $0.64 \cdot 8 / 3.6 \cdot 10^{-3}$

Scénario	Valeur/indication issue de l'atelier Systèmes Techniques	Valeur retenue pour la modélisation ACV
VL - ambitieux	ND	0.001422 Reprise de la valeur du rapport CEET
VL - minimaliste	ND	0.001422 Reprise de la valeur du rapport CEET

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 µJ/bit $\rightarrow 20 \cdot 8 / 3.6 \cdot 10^{-3}$

Scénario	Valeur/indication issue de l'atelier Systèmes Techniques	Valeur retenue pour la modélisation ACV
VL - ambitieux	ND (gestion par data centres internes)	0.044
VL - minimaliste	ND (gestion par data centres internes)	0.044

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 :

Scénario	Valeur/indication issue de l'atelier Systèmes Techniques	Valeur retenue pour la modélisation ACV
VL - ambitieux	ND	
VL - minimaliste	ND	

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

Scénario	Valeur/indication issue de l'atelier Systèmes Techniques	Valeur retenue pour la modélisation ACV
VL - ambitieux	ND	
VL - minimaliste	ND	

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.

Scénario	Valeur/indication issue de l'atelier Systèmes Techniques	Valeur retenue pour la modélisation ACV
VL - ambitieux	10	
VL - minimaliste	10	

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 :

Scénario	Valeur/indication issue de l'atelier Systèmes Techniques	Valeur retenue pour la modélisation ACV
----------	---	--

VL - ambitieux	1/intersection avec feux = OdG 1/km ² = 200 sur environ 2000 km d'infra=0.1	0.1 Reprise de l'hypothèse de l'atelier. Eventuellement tester des valeurs jusqu'à 2
VL - minimaliste	1/intersection avec feux = OdG 1/km ² = 200 sur environ 2000 km d'infra=0.1	0.1 Reprise de l'hypothèse de l'atelier. Eventuellement tester des valeurs jusqu'à 2

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 :

Scénario	Valeur/indication issue de l'atelier Systèmes Techniques	Valeur retenue pour la modélisation ACV
VL - ambitieux	NA-pour les besoins de modélisation tout assimilé au contexte autoroutier	0 (pour les besoins de modélisation tout assimilé au fonctionnement autoroutier)
VL - minimaliste	NA-pour les besoins de modélisation tout assimilé au contexte autoroutier	0 (pour les besoins de modélisation tout assimilé au fonctionnement autoroutier)

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 :

Scénario	Valeur/indication issue de l'atelier Systèmes Techniques	Valeur retenue pour la modélisation ACV
VL - ambitieux	NA-pour les besoins de modélisation tout assimilé au contexte autoroutier	0 (pour les besoins de modélisation tout assimilé au fonctionnement autoroutier)
VL - minimaliste	NA-pour les besoins de modélisation tout assimilé au contexte autoroutier	0 (pour les besoins de modélisation tout assimilé au fonctionnement autoroutier)

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 :

Scénario	Valeur/indication issue de l'atelier Systèmes Techniques	Valeur retenue pour la modélisation ACV
----------	--	---

VL - ambitieux	NA-pour les besoins de modélisation tout assimilé au contexte autoroutier	0 (pour les besoins de modélisation tout assimilé au fonctionnement autoroutier)
VL - minimaliste	NA-pour les besoins de modélisation tout assimilé au contexte autoroutier	0 (pour les besoins de modélisation tout assimilé au fonctionnement autoroutier)

DensLinRSUAutoroute

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

Ordres de grandeur issus de la littérature :

Scénario	Valeur/indication issue de l'atelier Systèmes Techniques	Valeur retenue pour la modélisation ACV
VL - ambitieux	1/intersection et insertion = OdG 1/km ² = 200 feux +10 insertions environ sur 2000 km d'infra = 0.105	0.105 Reprise de l'hypothèse de l'atelier. Eventuellement tester des valeurs jusqu'à 2
VL - minimaliste	1/intersection et insertion = OdG 1/km ² = 200 feux +10 insertions environ sur 2000 km d'infra = 0.105	0.105 Reprise de l'hypothèse de l'atelier. Eventuellement tester des valeurs jusqu'à 2

DensLinRSUurb

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

Ordres de grandeur issus de la littérature :

Scénario	Valeur/indication issue de l'atelier Systèmes Techniques	Valeur retenue pour la modélisation ACV
VL - ambitieux	NA-pour les besoins de modélisation tout assimilé au contexte autoroutier	0 (pour les besoins de modélisation tout assimilé au fonctionnement autoroutier)
VL - minimaliste	NA-pour les besoins de modélisation tout assimilé au contexte autoroutier	0 (pour les besoins de modélisation tout assimilé au fonctionnement autoroutier)

DensLinRSURural

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

Ordres de grandeur issus de la littérature :

Scénario	Valeur/indication issue de l'atelier Systèmes Techniques	Valeur retenue pour la modélisation ACV
VL - ambitieux	NA-pour les besoins de modélisation tout assimilé au contexte autoroutier	0 (pour les besoins de modélisation tout assimilé au fonctionnement autoroutier)
VL - minimaliste	NA-pour les besoins de modélisation tout assimilé au contexte autoroutier	0 (pour les besoins de modélisation tout assimilé au fonctionnement autoroutier)

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 :

Scénario	Valeur/indication issue de l'atelier Systèmes Techniques	Valeur retenue pour la modélisation ACV
VL - ambitieux	NA-pour les besoins de modélisation tout assimilé au contexte autoroutier	0 (pour les besoins de modélisation tout assimilé au fonctionnement autoroutier)
VL - minimaliste	NA-pour les besoins de modélisation tout assimilé au contexte autoroutier	0 (pour les besoins de modélisation tout assimilé au fonctionnement autoroutier)

DensLinUBRTot

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

Paramètre dépendant, égal à :

$PartUrb * DensLinRSUUrb + PartRural * DensLinRSURural + PartAutoroute * DensLinRSUAutoroute + Parkin$
 $gRate * DensRSUPark$

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

Scénario	Valeur/indication issue de l'atelier Systèmes Techniques	Valeur retenue pour la modélisation ACV
VL - ambitieux	ND	1 Estimation (pas de données – l'objectif est le raccordement à 100% hors configurations complexes, travaux trop chers etc...). Tester d'autres valeurs, par ex 0.85
VL - minimaliste	ND	1 Estimation (pas de données – l'objectif est le raccordement à 100% hors configurations complexes, travaux trop chers etc...). Tester d'autres valeurs, par ex 0.85

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 :

Scénario	Valeur/indication issue de l'atelier Systèmes Techniques	Valeur retenue pour la modélisation ACV
VL - ambitieux	4/intersection avec feu = OdG 1/km ² feux = 4*200 environ sur 2000 km d'infra = 0.4	0.4 Reprise de l'hypothèse de l'atelier
VL - minimaliste	0	0 Reprise de l'hypothèse de l'atelier

DensLinRSCameraUrb

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

Ordres de grandeur issus de la littérature :

Scénario	Valeur/indication issue de l'atelier Systèmes Techniques	Valeur retenue pour la modélisation ACV
VL - ambitieux	NA-pour les besoins de modélisation tout assimilé au contexte autoroutier	0 (pour les besoins de modélisation tout assimilé au fonctionnement autoroutier)
VL - minimaliste	NA-pour les besoins de modélisation tout assimilé au contexte autoroutier	0 (pour les besoins de modélisation tout assimilé au fonctionnement autoroutier)

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 :

Scénario	Valeur/indication issue de l'atelier Systèmes Techniques	Valeur retenue pour la modélisation ACV
VL - ambitieux	NA-pour les besoins de modélisation tout assimilé au contexte autoroutier	0 (pour les besoins de modélisation tout assimilé au fonctionnement autoroutier)
VL - minimaliste	NA-pour les besoins de modélisation tout assimilé au contexte autoroutier	0 (pour les besoins de modélisation tout assimilé au fonctionnement autoroutier)

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 :

Scénario	Valeur/indication issue de l'atelier Systèmes Techniques	Valeur retenue pour la modélisation ACV
VL - ambitieux	NA-pour les besoins de modélisation tout assimilé au contexte autoroutier	0 (pour les besoins de modélisation tout assimilé au fonctionnement autoroutier)
VL - minimaliste	NA-pour les besoins de modélisation tout assimilé au contexte autoroutier	0 (pour les besoins de modélisation tout assimilé au fonctionnement autoroutier)

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 :

Scénario	Valeur/indication issue de l'atelier Systèmes Techniques	Valeur retenue pour la modélisation ACV
VL - ambitieux	1/insertion sur voies rapides = OdG 10 sur CAPS avec 2000 km d'infra = 0.005	0.005 Reprise de l'hypothèse de l'atelier
VL - minimaliste	0	0 Reprise de l'hypothèse de l'atelier

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 :

Scénario	Valeur/indication issue de l'atelier Systèmes Techniques	Valeur retenue pour la modélisation ACV
VL - ambitieux	NA-pour les besoins de modélisation tout assimilé au contexte autoroutier	0 (pour les besoins de modélisation tout assimilé au fonctionnement autoroutier)
VL - minimaliste	NA-pour les besoins de modélisation tout assimilé au contexte autoroutier	0 (pour les besoins de modélisation tout assimilé au fonctionnement autoroutier)

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 :

Scénario	Valeur/indication issue de l'atelier Systèmes Techniques	Valeur retenue pour la modélisation ACV
VL - ambitieux	NA-pour les besoins de modélisation tout assimilé au contexte autoroutier	0 (pour les besoins de modélisation tout assimilé au fonctionnement autoroutier)
VL - minimaliste	NA-pour les besoins de modélisation tout assimilé au contexte autoroutier	0 (pour les besoins de modélisation tout assimilé au fonctionnement autoroutier)

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 :

Scénario	Valeur/indication issue de l'atelier Systèmes Techniques	Valeur retenue pour la modélisation ACV
VL - ambitieux	NA-pour les besoins de modélisation tout assimilé au contexte autoroutier	0 (pour les besoins de modélisation tout assimilé au fonctionnement autoroutier)
VL - minimaliste	NA-pour les besoins de modélisation tout assimilé au contexte autoroutier	0 (pour les besoins de modélisation tout assimilé au fonctionnement autoroutier)

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

Scénario	Valeur/indication issue de l'atelier Systèmes Techniques	Valeur retenue pour la modélisation ACV
VL - ambitieux	2 (redondance nécessaire)	2 Reprise de l'hypothèse de l'atelier
VL - minimaliste	0	0 Reprise de l'hypothèse de l'atelier

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

Scénario	Valeur/indication issue de l'atelier Systèmes Techniques	Valeur retenue pour la modélisation ACV
VL - ambitieux	2 (redondance nécessaire)	2 Reprise de l'hypothèse de l'atelier
VL - minimaliste	2 (redondance nécessaire)	2 Reprise de l'hypothèse de l'atelier

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 :

Scénario	Valeur/indication issue de l'atelier Systèmes Techniques	Valeur retenue pour la modélisation ACV
VL - ambitieux	1 (pas de redondance)	
VL - minimaliste	1 (pas de redondance)	

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 :

Scénario	Valeur/indication issue de l'atelier Systèmes Techniques	Valeur retenue pour la modélisation ACV
VL - ambitieux	1 (pour l'exploitation trafic)	1 Reprise de l'hypothèse de l'atelier
VL - minimaliste	NA	NA (0)

RSLiDARMut

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

1-Les LiDARs débarquées sont mutualisées (dans tous les contextes empreintés 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 empreintés par le véhicule autonome)

Ordres de grandeur issus de la littérature :

Scénario	Valeur/indication issue de l'atelier Systèmes Techniques	Valeur retenue pour la modélisation ACV
VL - ambitieux	1 (pour l'exploitation trafic)	1 Reprise de l'hypothèse de l'atelier
VL - minimaliste	NA	NA (0)

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 :

Scénario	Valeur/indication issue de l'atelier Systèmes Techniques	Valeur retenue pour la modélisation ACV
VL - ambitieux	100	100 Reprise de l'hypothèse de l'atelier
VL - minimaliste	NA	NA (100)

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 :

Scénario	Valeur/indication issue de l'atelier Systèmes Techniques	Valeur retenue pour la modélisation ACV
VL - ambitieux	1010 (200 feux connectés, 8 calculateurs analysant 800 caméras, 10 Lidars, informations véhicules et informations trafic)	1010 Reprise de l'hypothèse de l'atelier
VL - minimaliste	200 (feux connectés)	200 Reprise de l'hypothèse de l'atelier

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 :

Scénario	Valeur/indication issue de l'atelier Systèmes Techniques	Valeur retenue pour la modélisation ACV
VL - ambitieux	200 veh (cf fiche service) effectuant chacun 50 000 km/ an 24h/24, 7j/j sur 2000 km d'infra = 0.6	0.6 Reprise des hypothèses de l'atelier
VL - minimaliste	200 veh (cf fiche service) effectuant chacun 50 000 km/ an 24h/24, 7j/j sur 2000 km d'infra = 0.6	0.6 Reprise des hypothèses de l'atelier

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 :

Scénario	Valeur/indication issue de l'atelier Systèmes Techniques	Valeur retenue pour la modélisation ACV
VL - ambitieux	NA – tout assimilé au contexte autoroutier	Tout assimilé au contexte autoroutier mais valeur non nulle : 0.6
VL - minimaliste	NA – tout assimilé au contexte autoroutier	Tout assimilé au contexte autoroutier mais valeur non nulle : 0.6

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 :

Scénario	Valeur/indication issue de l'atelier Systèmes Techniques	Valeur retenue pour la modélisation ACV
VL - ambitieux	NA – tout assimilé au contexte autoroutier	Tout assimilé au contexte autoroutier mais valeur non nulle : 0.6
VL - minimaliste	NA – tout assimilé au contexte autoroutier	Tout assimilé au contexte autoroutier mais valeur non nulle : 0.6

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).

Scénario	Valeur/indication issue de l'atelier Systèmes Techniques	Valeur retenue pour la modélisation ACV
VL - ambitieux	NA – tout assimilé au contexte autoroutier	Tout assimilé au contexte autoroutier mais valeur non nulle : 0.6
VL - minimaliste	NA – tout assimilé au contexte autoroutier	Tout assimilé au contexte autoroutier mais valeur non nulle : 0.6

MHTAutoroute

(veh/h) Débit 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

Scénario	Valeur/indication issue de l'atelier Systèmes Techniques	Valeur retenue pour la modélisation ACV
VL - ambitieux	« variable »	256 Estimation réalisée à partir de la simulation de Mwendwa Kiko sur l'ensemble du réseau MODUS de la CAPS
VL - minimaliste	« variable »	256 Estimation réalisée à partir de la simulation de Mwendwa Kiko sur l'ensemble du réseau MODUS de la CAPS

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	½
7-9	2	1
9-16	7	½
16-19	3	1
19-22	3	1/3
22-6	8	1/24

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

Scénario	Valeur/indication issue de l'atelier Systèmes Techniques	Valeur retenue pour la modélisation ACV
VL - ambitieux	NA-pour les besoins de modélisation tout assimilé au contexte autoroutier	NA (0)
VL - minimaliste	NA-pour les besoins de modélisation tout assimilé au contexte autoroutier	NA (0)

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

Scénario	Valeur/indication issue de l'atelier Systèmes Techniques	Valeur retenue pour la modélisation ACV
VL - ambitieux	NA-pour les besoins de modélisation tout assimilé au contexte autoroutier	NA (0)
VL - minimaliste	NA-pour les besoins de modélisation tout assimilé au contexte autoroutier	NA (0)

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: $MHT_{Stationnement} = T/d = 0,25 \text{ veh/h}$

Scénario	Valeur/indication issue de l'atelier Systèmes Techniques	Valeur retenue pour la modélisation ACV
VL - ambitieux	NA-pour les besoins de modélisation tout assimilé au contexte autoroutier	NA (0)
VL - minimaliste	NA-pour les besoins de modélisation tout assimilé au contexte autoroutier	NA (0)

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

Scénario	Valeur/indication issue de l'atelier Systèmes Techniques	Valeur retenue pour la modélisation ACV
VL - ambitieux	0.5 (0.4 – 0.6 mais très discutable)	0.5 Reprise de l'hypothèse de l'atelier (valeur à faire varier)
VL - minimaliste	0.5 (0.4 – 0.6 mais très discutable)	0.5 Reprise de l'hypothèse de l'atelier (valeur à faire varier)

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 ?

Scénario	Valeur/indication issue de l'atelier Systèmes Techniques	Valeur retenue pour la modélisation ACV
VL - ambitieux	NR	56 Hypothèse COPERT (ou parc IFTTAR ?) pour l'environnement rural
VL - minimaliste	NR	56 Hypothèse COPERT (ou parc IFTTAR ?) pour l'environnement rural

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 ?

Scénario	Valeur/indication issue de l'atelier Systèmes Techniques	Valeur retenue pour la modélisation ACV
VL - ambitieux	20	23 car ne peut pas être nul
VL - minimaliste	20	23 car ne peut pas être nul

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 ?

Scénario	Valeur/indication issue de l'atelier Systèmes Techniques	Valeur retenue pour la modélisation ACV
VL - ambitieux	80	56 car ne peut pas être nul
VL - minimaliste	80	56 car ne peut pas être nul

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

Scénario	Valeur/indication issue de l'atelier Systèmes Techniques	Valeur retenue pour la modélisation ACV
VL - ambitieux	NR	5 car ne peut pas être nul
VL - minimaliste	NR	5 car ne peut pas être nul

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

Scénario	Valeur/indication issue de l'atelier Systèmes Techniques	Valeur retenue pour la modélisation ACV
VL - ambitieux	NR (reprise valeur I2V < 10 Mo/s car a priori pas de traitement dans l'agrégateur -> <36 Go/h)	36 Reprise de l'hypothèse de l'atelier mais valeur semble très élevée, tester une gamme plus grande (entre 0.004 et 30)
VL - minimaliste	NR (reprise valeur I2V < 10 Mo/s car a priori pas de traitement dans l'agrégateur <36 Go/h)	36 Reprise de l'hypothèse de l'atelier mais valeur semble très élevée, tester une gamme plus grande (entre 0.004 et 30)

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

Scénario	Valeur/indication issue de l'atelier Systèmes Techniques	Valeur retenue pour la modélisation ACV
VL - ambitieux	50Mo/s (=180 Go/h)	180 Reprise de l'hypothèse de l'atelier
VL - minimaliste	50Mo/s (=180 Go/h)	180 Reprise de l'hypothèse de l'atelier

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

Scénario	Valeur/indication issue de l'atelier Systèmes Techniques	Valeur retenue pour la modélisation ACV
VL - ambitieux	Pas de traitement centralisé – traitement local	3.24 Reprise de l'hypothèse réalisée pour DataTempsTracking car les données du LiDAR sont traitées avant d'être transmises
VL - minimaliste	NA	NA (0)

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

Scénario	Valeur/indication issue de l'atelier Systèmes Techniques	Valeur retenue pour la modélisation ACV
VL - ambitieux	Hypothèses recueillies 300 octets / objet envoyé toutes les 100 ms et un nombre max d'objets détectés dans la portée du capteur (environ 300 objets mais dépend du trafic) ->900ko/s = 3.24 Go/h	3.24 Reprise de l'hypothèse de l'atelier
VL - minimaliste	NA	NA (0)

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.

Scénario	Valeur/indication issue de l'atelier Systèmes Techniques	Valeur retenue pour la modélisation ACV
VL - ambitieux	<1Mo/s (V2I) (<3.6Go/h donc 3.6/56 = 0.06 Go/km)	0.06 Reprise de l'hypothèse de l'atelier
VL - minimaliste	0 (pas de V2I)	0 Reprise de l'hypothèse de l'atelier

4.3.4 Autres paramètres

Paramètres non implémentés :

EfficiencesAutonomie

(N/A) Efficacité 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.

Scénario	Valeur/indication issue de l'atelier Systèmes Techniques	Valeur retenue pour la modélisation ACV
VL - ambitieux	Reprise en télé-opération en cas d'incident ou de travaux – NR (30min/j -> 28 km à 56km/h pour un total de $50\,000/365 = 137$ km roulés quotidiennement)	1 (si on peut assimiler la télé-opération à de la conduite autonome) ?
VL - minimaliste	Reprise en manuel en cas d'incident ou de travaux – NR (reprise de l'hypothèse de 30 min/j conduits manuellement -> 28 km sur un total de 137 km)	0,8

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'agrèger 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. Vérifier 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-butadiene-styrene copolymer	CameraWeight *PlasticFraction /0.994/0.997	kg	market for acrylonitrile-butadiene-styrene copolymer acrylonitrile-butadiene-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 *ElectronicsICPackageSubfraction	kg	market for integrated circuit, memory type integrated circuit, memory type Cutoff, S - GLO
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	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	0.46	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-butadiène-styrène copolymère	SLidarWeight *PlasticFraction /0.994/0.997	kg	market for acrylonitrile-butadiène-styrène copolymère acrylonitrile-butadiène-styrène copolymère Cutoff, S - GLO
aluminium, forgé	SLidarWeight *AluminumFraction	kg	market for aluminium, forgé aluminium, forgé Cutoff, S - GLO
emboutissage	SLidarWeight *PlasticFraction /0.997	kg	market for emboutissage emboutissage Cutoff, S - GLO
câble, câble ruban, 20-pins, avec connecteurs	SLidarWeight *CopperFraction	kg	market for câble, câble ruban, 20-pins, avec connecteurs câble, câble ruban, 20-pins, avec connecteurs Cutoff, S - GLO
fonte	SLidarWeight *CastIronFraction	kg	market for fonte fonte Cutoff, S - GLO
verre plat, revêtu	SLidarWeight *GlassFraction	kg	market for verre plat, revêtu verre plat, revêtu Cutoff, S - RoW
emboutissage	SLidarWeight *PlasticFraction /0.994/0.997	kg	market for emboutissage emboutissage Cutoff, S - GLO
circuit intégré, mémoire	SLidarWeight *ElectronicsFraction *ElectronicsICPackageSubfraction	kg	market for circuit intégré, mémoire circuit intégré, mémoire Cutoff, S - GLO
travail de métal, moyenne pour produit en aluminium	SLidarWeight *AluminumFraction	kg	market for travail de métal, moyenne pour produit en aluminium travail de métal, moyenne pour produit en aluminium Cutoff, S - GLO
unité d'alimentation, pour ordinateur de bureau	(1/1.4434)*SLidarWeight *ElectronicsFraction *ElectronicsPowerSupplySubfraction	litres (s)	market for unité d'alimentation, pour ordinateur de bureau unité d'alimentation, pour ordinateur de bureau Cutoff, S - GLO
carte imprimée, montage à trous, non spécifiée, plomb	0.3*SLidarWeight *ElectronicsFraction *ElectronicsPWBSubfraction	kg	market for carte imprimée, montage à trous, non spécifiée, plomb carte imprimée, montage à trous, non spécifiée, plomb 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	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	0.61	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	0.00 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	0.2	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
PlasticFraction	0.5	Part du poids du capteur alloué aux plastiques

Radars

(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 rapport 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	l t e m (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 *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)*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	It e m (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	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	0.55	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 dansecoinvent 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	item	market for power supply unit, for desktop computer power supply unit, for desktop computer Cutoff, S - GLO

	*ElectronicsPowerSupplySubfraction	(s)	
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	Unité	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	0.0 2	Part du poids de l'ordinateur en fonte(?)
CopperFraction	0.0 6	Part du poids de l'ordinateur en cuivre
ElectronicsFraction	0.1 6	Part du poids de l'ordinateur alloué aux 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 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	U ni té	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	Unité	Provider
electricity, low voltage	CameraPower /1000/EffBattery	kWh	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	Unité	Provider
electricity, low voltage	SLiDARPower /1000/EffBattery	kWh	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	Unit é	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 : provider d'électricité global, à ajuster pour la modélisation.

Flux d'entrée	Quantité	Unit é	Provider
electricity, low voltage	GNSSPower /1000/EffBattery	kWh	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 provider 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	kW h	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	Unité	Provider
battery, Li-ion, rechargeable, prismatic	PoidsBat*(DistTotVehU /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/LSSLiDAR	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, passager 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	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

Urbain-Plate-forme-Vie en oeuvre

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 consommée 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 œuvre.

- 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'OBU 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*MKmDrivingTime	Item(s) (Go)	Data-Cellular
Data-Data Centre	DataTempCPMDL*MKmDrivingTime	Item(s) (Go)	Data-Data Centre
Data-Network	DataTempCPMDL*MKmDrivingTime	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 0.4µJ/bit, du même ordre de grandeur que Data-Network, très faible devant DataCentre (20µJ/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-Décision	1.0	Items*km	Vehicule-Décision
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 du 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.

Inlcure :

- 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.

Inclure :

- 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 œuvre

Sup-Supervision service-Vie en oeuvre

(veh.km) Contributions liées à la phase de vie en œuvre 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	$(1 / 0.85 / 1.68) * RSCameraWeight * ElectronicsFraction * ElectronicsICDieSubfraction$	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 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	RSLidarWeight *PlasticFraction /0.994/0.997	kg	market for acrylonitrile-butadiene-styrene copolymer acrylonitrile-butadiene-styrene copolymer Cutoff, S - GLO
aluminium, wrought alloy	RSLidarWeight *AluminumFraction	kg	market for aluminium, wrought alloy aluminium, wrought alloy Cutoff, S - GLO
blow moulding	RSLidarWeight *PlasticFraction /0.997	kg	market for blow moulding blow moulding Cutoff, S - GLO
cable, ribbon cable, 20-pin, with plugs	RSLidarWeight *CopperFraction	kg	market for cable, ribbon cable, 20-pin, with plugs cable, ribbon cable, 20-pin, with plugs Cutoff, S - GLO
cast iron	RSLidarWeight *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	l t e m (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	RS LidarWeight *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	RS LidarWeight *AluminumFraction	kg	market for sheet rolling, aluminium sheet rolling, aluminium Cutoff, S - GLO
wafer, fabricated, for integrated circuit	(1/0.85/1.68)*RS LidarWeight *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	0.002	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

RSCalculator

(nombre) Contributions liées à la fabrication et fin de vie d'un ordinateur embarqué, associé à un capteur (caméra ou LiDar) embarqué 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 ordinateur embarqué du véhicule. Issus de l'article Gawron et la. 2018.

- Processus de fabrication -> ok, à améliorer. Reprise de la modélisation du ordinateur 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 ordinateur 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	$(1/1.4434) * RSCalculatorWeight * ElectronicsFraction * ElectronicsPowerSupplySubfraction$	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	$0.3 * RSCalculatorWeight * ElectronicsFraction * ElectronicsPWBSubfraction$	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 :

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

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 al. 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	$CentrCalcWeight * PlasticFraction / 0.994 / 0.997$	kg	market for acrylonitrile-butadiene-styrene copolymer acrylonitrile-butadiene-styrene copolymer Cutoff, S - GLO
aluminium, wrought alloy	$CentrCalcWeight * AluminumFraction$	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	$(1/1.4434) * \text{CentrCalcWeight} * \text{ElectronicsFraction} * \text{ElectronicsPowerSupplySubfraction}$	litre (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	$\text{CentrCalcWeight} * \text{RareEarthFraction}$	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	$\text{CentrCalcWeight} * \text{AluminiumFraction}$	kg	market for sheet rolling, aluminium sheet rolling, aluminium Cutoff, S - GLO
wafer, fabricated, for integrated circuit	$(1/0.85/1.68) * \text{CentrCalcWeight} * \text{ElectronicsFraction} * \text{ElectronicsICDieSubfraction}$	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 :

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	0.02	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	$\text{CentrAgregWeight} * \text{PlasticFraction} / 0.994 / 0.997$	kg	market for acrylonitrile-butadiene-styrene copolymer acrylonitrile-butadiene-styrene copolymer Cutoff, S - GLO
aluminium, wrought alloy	$\text{CentrAgregWeight} * \text{AluminumFraction}$	kg	market for aluminium, wrought alloy aluminium, wrought alloy Cutoff, S - GLO
blow moulding	$\text{CentrAgregWeight} * \text{PlasticFraction} / 0.997$	kg	market for blow moulding blow moulding Cutoff, S - GLO
cable, ribbon cable, 20-pin, with plugs	$\text{CentrAgregWeight} * \text{CopperFraction}$	kg	market for cable, ribbon cable, 20-pin, with plugs cable, ribbon cable, 20-pin, with plugs Cutoff, S - GLO
cast iron	$\text{CentrAgregWeight} * \text{CastIronFraction}$	kg	market for cast iron cast iron Cutoff, S - GLO
injection moulding	$\text{CentrAgregWeight} * \text{PlasticFraction} / 0.994 / 0.997$	kg	market for injection moulding injection moulding Cutoff, S - GLO
integrated circuit, memory type	$\text{CentrAgregWeight} * \text{ElectronicsFraction} * \text{ElectronicsICPackageSubfraction}$	kg	market for integrated circuit, memory type integrated circuit, memory type Cutoff, S - GLO
metal working, average for aluminium product manufacturing	$\text{CentrAgregWeight} * \text{AluminumFraction}$	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	$(1/1.4434) * \text{CentrAgregWeight} * \text{ElectronicsFraction} * \text{ElectronicsPowerSupplySubfraction}$	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	$0.3 * \text{CentrAgregWeight} * \text{ElectronicsFraction} * \text{ElectronicsPWBSubfraction}$	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	$0.7 * \text{CentrAgregWeight} * \text{ElectronicsFraction} * \text{ElectronicsPWBSubfraction}$	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	$\text{CentrAgregWeight} * \text{RareEarthFraction}$	kg	market for samarium europium gadolinium concentrate, 94% rare earth oxide samarium europium gadolinium concentrate, 94% rare earth oxide Cutoff, S - GLO

concentrate, 94% rare earth oxide			
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	0.0 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

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 ordinateur 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	$5.37E-4 * (\text{PoidsVehSsBat} + \text{NbCamera} * \text{CameraWeight} + \text{NbComputer} * \text{ComputerWeight} + \text{NbGNSS} * \text{GNSSWeight} + \text{NbHarness} * \text{HarnessWeight})$	m*a	market for road road Cutoff, S - GLO

	$+NbLLiDAR *LLidarWeight +NbOBU *OBUWeight +NbRadar *RadarWeight +NbSLiDAR *SLidarWeight +NbSonar *SonarWeight +PoidsBat)/1000$		
--	---	--	--

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/((MHTRural*RSCameraMut +MHTServiceRural)*24*365)	Item(s)	RSCamera
RSLiDAR	DensLinRSLiDARRural /LSRSLidar/((MHTRural*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'empruntera 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	Provi-der
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 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-Prod et fin de vie

Flux d'entrée	Quantité	Unité	Provider
Central Agregator	$\text{CentrAgregNb} / \text{CentrAgregMut} * \text{DensLinRSCameraAutoroute} / \text{LSCentrAgreg} / ((\text{MHTAutoroute} * (1 - \text{PartVehConnectes}) * \text{RSCameraMut} + \text{MHTAutoroute} * \text{PartVehConnectes} + \text{MHTServiceAutoroute}) * 24 * 365)$	Ite m(s)	Central Agregator
Central Agregator	$\text{CentrAgregNb} / \text{CentrAgregMut} * \text{DensLinRSLiDARAutoroute} / \text{LSCentrAgreg} / ((\text{MHTAutoroute} * (1 - \text{PartVehConnectes}) * \text{RSLiDARMut} + \text{MHTAutoroute} * \text{PartVehConnectes} + \text{MHTServiceAutoroute}) * 24 * 365)$	Ite m(s)	Central Agregator
Central Calculateur	$\text{CentrCalcNb} / \text{CentrCalcMut} * \text{DensLinRSCameraAutoroute} / \text{LSCentrCalc} / ((\text{MHTAutoroute} * \text{PartVehConnectes} + \text{MHTServiceAutoroute}) * 24 * 365)$	Ite m(s)	Central Calculateur
RSCalculator	$\text{DensLinRSLiDARAutoroute} / \text{LSRSCalculator} / ((\text{MHTAutoroute} * \text{PartVehConnectes} + \text{MHTServiceAutoroute}) * 24 * 365)$	Ite m(s)	RSCalculator
RSCalculator	$\text{DensLinCTLightsAutoroute} / \text{LSRSCalculator} / ((\text{MHTAutoroute} + \text{MHTServiceAutoroute}) * 24 * 365) + \text{DensLinCTLightsAutoroute} / \text{LSRSCalculator} / ((\text{MHTServiceAutoroute}) * 24 * 365)$	Ite m(s)	RSCalculator

Urbain-Traitement données-Prod et fin de vie

Flux d'entrée	Quantité	Unité	Provider
RSCalculator	$\text{DensLinRSLiDARUrb} / \text{LSRSCalculator} / ((\text{MHTUrb} * \text{PartVehConnectes} * \text{RSLiDARMut} + \text{MHTServiceUrb}) * 24 * 365)$	Ite m(s)	RSCalculator
RSCalculator	$\text{DensLinRSCameraUrb} / \text{LSRSCalculator} / ((\text{MHTUrb} * \text{PartVehConnectes} * \text{RSCameraMut} + \text{MHTServiceUrb}) * 24 * 365)$	Ite m(s)	RSCalculator
RSCalculator	$\text{DensLinCTLightsUrb} / \text{LSRSCalculator} / ((\text{MHTUrb} + \text{MHTServiceUrb}) * 24 * 365) + \text{DensLinCTLightsUrb} / \text{LSRSCalculator} / ((\text{MHTServiceUrb}) * 24 * 365)$	Ite m(s)	RSCalculator

Rural-Traitement données-Prod et fin de vie

Flux d'entrée	Quantité	Unité	Provider
RSCalculator	$\text{DensLinRSLiDARRural} / \text{LSRSCalculator} / ((\text{MHTRural} * \text{PartVehConnectes} * \text{RSLiDARMut} + \text{MHTServiceRural}) * 24 * 365)$	Ite m(s)	RSCalculator
RSCalculator	$\text{DensLinRSCameraRural} / \text{LSRSCalculator} / ((\text{MHTRural} * \text{PartVehConnectes} * \text{RSCameraMut} + \text{MHTServiceRural}) * 24 * 365)$	Ite m(s)	RSCalculator
RSCalculator	$\text{DensLinCTLightsRural} / \text{LSRSCalculator} / ((\text{MHTRural} + \text{MHTServiceRural}) * 24 * 365) + \text{DensLinCTLightsRural} / \text{LSRSCalculator} / ((\text{MHTServiceRural}) * 24 * 365)$	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'empreintera 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	$\text{DensLinRSUrb} / \text{LSRSU} / ((\text{MHTUrb} * \text{PartVehConnectes} + \text{MHTServiceUrb}) * 24 * 365)$	Item(s)	RSU

Rural-Telecom-Prod et fin de vie

Flux d'entrée	Quantité	Unité	Provider
RSU	$\text{DensLinRSURural} / \text{LSRSU} / ((\text{MHTRural} * \text{PartVehConnectes} + \text{MHTServiceRural}) * 24 * 365)$	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	$DensRSUPark / LRSU / ((MHTStationnement * PartVehConnectes + MHTServiceStationnement) * 24 * 365)$	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 éuipée 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 éuipée 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	$\text{DensLinRSCameraAutoroute} / ((\text{MHTAutoroute} * (1 - \text{PartVehConnectes}) * \text{RSCameraMut} + \text{MHTAutoroute} * \text{PartVehConnectes} + \text{MHTServiceAutoroute}) * 24 * 365)$	a	RSCamera-use
RSLiDAR-use	$\text{DensLinRSLiDARAutoroute} / ((\text{MHTAutoroute} * (1 - \text{PartVehConnectes}) * \text{RSLiDARMut} + \text{MHTAutoroute} * \text{PartVehConnectes} + \text{MHTServiceAutoroute}) * 24 * 365)$	a	RSLiDAR-use

Urbain-Perception débarquée-Vie en oeuvre

Flux d'entrée	Quantité	Unité	Provider
RSCamera-use	$\text{DensLinRSCameraUrb} / ((\text{MHTUrb} * \text{RSCameraMut} + \text{MHTServiceUrb}) * 24 * 365)$	a	RSCamera-use
RSLiDAR-use	$\text{DensLinRSLiDARUrb} / ((\text{MHTUrb} * \text{RSLiDARMut} + \text{MHTServiceUrb}) * 24 * 365)$	a	RSLiDAR-use

Rural-Perception débarquée-Vie en oeuvre

Flux d'entrée	Quantité	Unité	Provider
RSCamera-use	$\text{DensLinRSCameraRural} / ((\text{MHTRural} * \text{RSCameraMut} + \text{MHTServiceRural}) * 24 * 365)$	a	RSCamera-use
RSLiDAR-use	$\text{DensLinRSLiDARRural} / ((\text{MHTRural} * \text{RSLiDARMut} + \text{MHTServiceRural}) * 24 * 365)$	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 oeuvre

Urbain-Traitement données-Vie en oeuvre

Rural-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 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 oeuvre 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 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-Vie en oeuvre

Flux d'entrée	Quantité	Unité	Provider
CentralAggregator-use	$\text{CentrAgregNb/CentrAgregMut} * \text{DensLinRSCameraAutoroute} / ((\text{MHTAutoroute} * (1 - \text{PartVehConnectes}) * \text{RSCameraMut} + \text{MHTAutoroute} * \text{PartVehConnectes} + \text{MHTServiceAutoroute}) * 24 * 365)$	a	CentralAggregator-use
CentralAggregator-use	$\text{CentrAgregNb/CentrAgregMut} * \text{DensLinRSLiDARAutoroute} / ((\text{MHTAutoroute} * (1 - \text{PartVehConnectes}) * \text{RSLidARMut} + \text{MHTAutoroute} * \text{PartVehConnectes} + \text{MHTServiceAutoroute}) * 24 * 365)$	a	CentralAggregator-use
CentralCalculator-use	$\text{CentrCalcNb/CentrCalcMut} * \text{DensLinRSCameraAutoroute} / ((\text{MHTAutoroute} * \text{PartVehConnectes} + \text{MHTServiceAutoroute}) * 24 * 365)$	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	$\text{DensLinRSLiDARUrb} / ((\text{MHTUrb} * \text{PartVehConnectes} * \text{RSLiDARMut} + \text{MHTServiceUrb}) * 24 * 365)$	a	RSCalculator-use
RSCalculator-use	$\text{DensLinCTLightsUrb} / ((\text{MHTUrb} + \text{MHTServiceUrb}) * 24 * 365) + \text{DensLinCTLightsUrb} / ((\text{MHTServiceUrb}) * 24 * 365)$	a	RSCalculator-use
RSCalculator-use	$\text{DensLinRSCameraUrb} / ((\text{MHTUrb} * \text{PartVehConnectes} * \text{RSCameraMut} + \text{MHTServiceUrb}) * 24 * 365)$	a	RSCalculator-use

Rural-Traitement données-Vie en oeuvre

Flux d'entrée	Quantité	Unité	Provider
RSCalculator-use	$\text{DensLinRSCameraRural} / ((\text{MHTRural} * \text{PartVehConnectes} * \text{RSCameraMut} + \text{MHTServiceRural}) * 24 * 365)$	a	RSCalculator-use
RSCalculator-use	$\text{DensLinRSLiDARRural} / ((\text{MHTRural} * \text{PartVehConnectes} * \text{RSLiDARMut} + \text{MHTServiceRural}) * 24 * 365)$	a	RSCalculator-use
RSCalculator-use	$\text{DensLinCTLightsRural} / ((\text{MHTRural} + \text{MHTServiceRural}) * 24 * 365) + \text{DensLinCTLightsRural} / ((\text{MHTServiceRural}) * 24 * 365)$	a	RSCalculator-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	$\text{CentrAgregNb} / \text{CentrAgregMut} * \text{DensRSLiDARPark} / ((\text{MHTStationnement} * (1 - \text{PartVehConnectes}) * \text{RSLiARMut} + \text{MHTStationnement} * \text{PartVehConnectes} + \text{MHTServiceStationnement}) * 24 * 365)$	a	CentralAgregator-use
CentralAgregator-use	$\text{CentrAgregNb} / \text{CentrAgregMut} * \text{DensRSCameraPark} / ((\text{MHTStationnement} * (1 - \text{PartVehConnectes}) * \text{RSCameraMut} + \text{MHTStationnement} * \text{PartVehConnectes} + \text{MHTServiceStationnement}) * 24 * 365)$	a	CentralAgregator-use
CentralAgregator-use	$\text{CentrAgregNb} / \text{CentrAgregMut} * \text{DensCTLightsPark} / ((\text{MHTStationnement} + \text{MHTServiceStationnement}) * 24 * 365)$	a	CentralAgregator-use
CentralCalculator-use	$\text{CentrCalcNb} / \text{CentrCalcMut} * (\text{DensRSCameraPark} + \text{DensRSLiDARPark}) / ((\text{MHTStationnement} * \text{PartVehConnectes} + \text{MHTServiceStationnement}) * 24 * 365)$	a	CentralCalculator-use

Autoroute-Telecom-Vie en oeuvre

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	$DensLinRSUAutoroute / ((MHTAutoroute * PartVehConnectes + MHTServiceAutoroute) * 24 * 365)$	a	RSU-use

Urbain-Telecom-Vie en oeuvre

Flux d'entrée	Quantité	Unité	Provider
RSU-use	$DensLinRSUurb / ((MHTurb * PartVehConnectes + MHTServiceUrb) * 24 * 365)$	a	RSU-use

Rural-Telecom-Vie en oeuvre

Flux d'entrée	Quantité	Unité	Provider
RSU-use	$DensLinRSURural / ((MHTRural * PartVehConnectes + MHTServiceRural) * 24 * 365)$	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 comptabilisée 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	$DensRSUPark / ((MHTStationnement * PartVehConnectes + MHTServiceStationnement) * 24 * 365)$	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 œuvre

Infra-Route-Vie en œuvre

(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	DatakmCPMUL	Item (s) (Go)	Data-Cellular
Data-Data Centre	DatakmCPMUL	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	$\text{PartAutoroute} * (\text{DensLinCTLightsAutoroute} * \text{DataTempsCTLights}) / ((\text{MHTAutoroute} * \text{PartVehConnectes} + \text{MHTServiceAutoroute})) + \text{PartUrb} * (\text{DensLinCTLightsUrb} * \text{DataTempsCTLights}) / ((\text{MHTUrb} * \text{PartVehConnectes} + \text{MHTServiceUrb})) + \text{PartRural} * (\text{DensLinCTLightsRural} * \text{DataTempsCTLights}) / ((\text{MHTRural} * \text{PartVehConnectes} + \text{MHTServiceRural}))$	Item (s) (Go)	Data-Network
Data-Network	$\text{PartAutoroute} * (\text{DensLinRSCameraAutoroute} * \text{DataTempsCamera}) / ((\text{MHTAutoroute} * (\text{1} - \text{PartVehConnectes}) * \text{RSCameraMut} + \text{MHTAutoroute} * \text{PartVehConnectes} + \text{MHTServiceAutoroute}))$	Item (s) (Go)	Data-Network

Data-Network	DatakmCPMUL	Item (s) (Go)	Data-Network
Data-Data Centre	PartAutoroute *(DensLinCTLightsAutoroute*DataTempsCTLights)/((MHTAutoroute +MHTServiceAutoroute))+PartUrb*(DensLinCTLightsUrb*DataTempsCTLights)/(((MHTUrb+MHTServiceUrb))+PartRural *(DensLinCTLightsRural*DataTempsCTLights)/((MHTRural+MHTServiceRural))	Item (s) (Go)	Data-Data Centre
Data-Network	PartUrb *(DensLinRSLiDARUrb*DataTempsTracking)/((MHTUrb *PartVehConnectes*RSLiDARMut +MHTServiceUrb))+PartUrb *(DensLinRSCameraUrb*DataTempsTracking)/((MHTUrb *PartVehConnectes*RSCameraMut +MHTServiceUrb))+PartRural*(DensLinRSLiDARRural*DataTempsTracking)/((MHTRural *PartVehConnectes*RSLiDARMut +MHTServiceRural))+PartRural *(DensLinRSCameraRural*DataTempsTracking)/((MHTRural *PartVehConnectes*RSCameraMut +MHTServiceRural))	Item (s) (Go)	Data-Network
Data-Data Centre	PartUrb *(DensLinRSLiDARUrb*DataTempsTracking)/((MHTUrb *PartVehConnectes*RSLiDARMut +MHTServiceUrb))+PartUrb *(DensLinRSCameraUrb*DataTempsTracking)/((MHTUrb *PartVehConnectes*RSCameraMut +MHTServiceUrb))+PartRural*(DensLinRSLiDARRural*DataTempsTracking)/((MHTRural *PartVehConnectes*RSLiDARMut +MHTServiceRural))+PartRural *(DensLinRSCameraRural*DataTempsTracking)/((MHTRural *PartVehConnectes*RSCameraMut +MHTServiceRural))	Item (s) (Go)	Data-Data Centre

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'OBUE 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	$\text{PartAutoroute} * (\text{DensLinRSUAutoroute} * (1 - \text{PartRSUFibre}) * \text{DataTempsTracking}) / ((\text{MHTAutoroute} * \text{PartVehConnectes} + \text{MHTServiceAutoroute}))$	Item(s)	Data-Cellular
Data-Cellular	$\text{TaillePKI} * \text{DensLinUBRTot} * 2 * (1 - \text{PartRSUFibre})$	Item(s)	Data-Cellular
Data-Data Centre	$\text{TaillePKI} * \text{DensLinUBRTot}$	Item(s)	Data-Data Centre
Data-Network	$\text{TaillePKI} * \text{DensLinUBRTot} * 2$	Item(s)	Data-Network
Data-Network	$\text{PartAutoroute} * (\text{DensLinRSUAutoroute} * \text{DataTempsTracking}) / ((\text{MHTAutoroute} * \text{PartVehConnectes} + \text{MHTServiceAutoroute}))$	Item(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-Autonomie

(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.

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 Horschütz 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