RAPPORT C1274

Adressé à :

Pierre ARNOLD, Attaché
Service public de Wallonie, mobilité infrastructures
Direction des Études stratégiques et de la Prospective
Boulevard du Nord 8, 5000 NAMUR

DÉFINITION ET VALIDATION DES COÛTS LIÉS AUX EXTERNALITÉS DU TRANSPORT EN RÉGION WALLONNE

Rapport d'étude

10 SEPTEMBRE 2021

Personne de contact :

Georges Fuchs

Directeur d'études

Tél. +32 (0)2 738 78 67

g.fuchs@stratec.be

stratec BUREAU D'ÉTUDES INDÉPENDANT

AVENUE ADOLPHE LACOMBLÉ 69-71 – BTE 8 / B-1030 BRUXELLES / TÉL : +32 (0)2 735 09 95 / FAX +32 (0)2 735 49 17
WWW.STRATEC.BE

RÉSUMÉ DE L'ÉTUDE

Le présent document est le rapport de l'étude réalisée par Stratec pour le compte du SPW Mobilité et Infrastructures pour la définition et validation des coûts liés aux externalités du transport en Région wallonne.

L'objectif premier de cette étude est de déterminer, sur la base de travaux déjà réalisés, un cahier de valeurs tutélaires adaptées à la situation géographique et socio-économique de la Wallonie.

Le deuxième objectif est ensuite de réaliser une estimation des coûts externes générés par les principales activités de transport en Wallonie, en distinguant l'impact par mode et type de demande (voyageurs ou marchandises).

En sciences économiques, on appelle externalité, par opposition aux coûts internes, un effet engendré par les choix d'un acteur mais supporté par d'autres acteurs, sans que cet effet ne soit pris en compte (internalisé) par l'émetteur. Par exemple, lorsqu'une personne décide de se déplacer en voiture, elle supporte un coût interne (carburant, entretien et dépréciation du véhicule, etc.), mais elle génère également des coûts externes pour les riverains (pollution de l'air, bruit), les autres usagers de la route (risque d'accident) et pour la société dans son ensemble (émissions de gaz à effet de serre).

Le champ de l'étude couvre les modes de transports, types de véhicules et types d'activité présentés dans le tableau suivant. Le mode aérien, fort émetteur d'émissions de CO_2 par passager-kilomètre, n'est pas intégré dans l'analyse car il s'agit d'un mode particulier, difficile à territorialiser à cette échelle, et qui présente encore un potentiel de report modal limité.

Mode de transport	Transport de personne	Transport de marchandise
Transport routier	Voiture particulière (VP) diesel, essence et électrique	Poids lourds (PL)
	Deux-roues motorisées (2RM)	Véhicules utilitaires légers (VUL) essence et diesel
	Transports en commun routiers (TC routiers)	
Transport ferroviaire	Trains à traction électrique	Trains à traction électrique
	Trains à traction diesel	Trains à traction diesel
Voie d'eau		Automoteurs et barges

6 catégories d'effets externes ont été estimés pour des types de véhicules :

- Accidents,
- Nuisances sonores,
- Pollution de l'air,
- Changement climatique,
- Effet de coupure liés aux infrastructures,
- Effet amont et aval, c'est-à-dire les impacts réalisés avant et après l'usage des véhicules.

Le coût de la congestion routière a par ailleurs été estimé afin de présenter une vision complète des impacts des différents modes de transport.

L'estimation des valeurs unitaires, coût par véhicule-kilomètre parcouru (vkm), a été faite à travers une revue de la littérature européenne et en particulier les recommandations officielles des pays voisins en la matière. Si une multitude de sources ont été consultées, trois documents ont été les plus souvent utilisées :

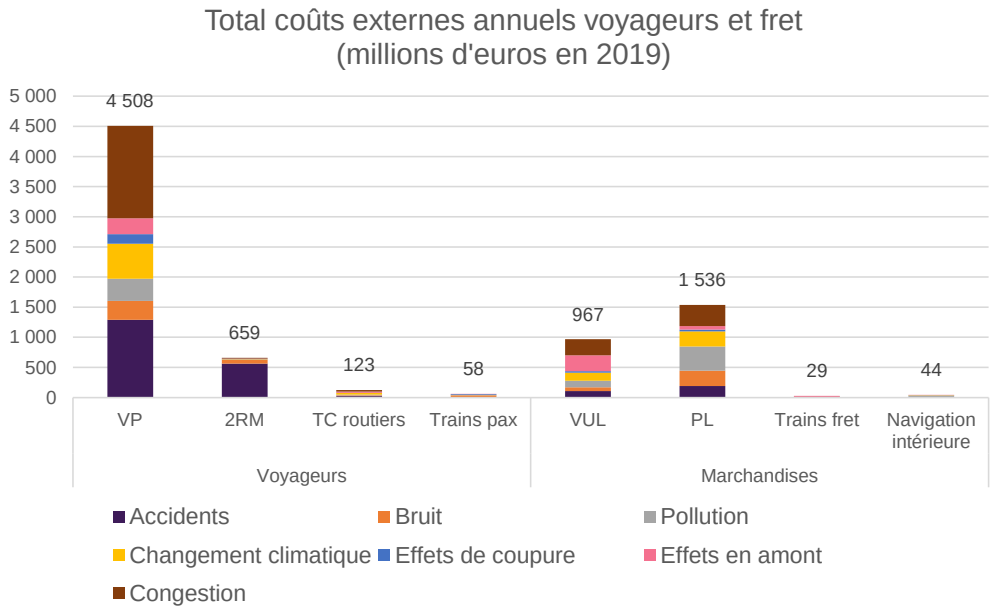
- Handbook européen sur les couts externes (CE Delft 2019 pour la Commissions Européenne),
- Fiches outils pour l'évaluation des projets d'infrastructure de transport en France (DGITM 2019),
- Le modèle allemand TREMOD pour les émissions des différents types de véhicules.

L'étude visait à estimer les coûts moyens (coût total divisé par une mesure de l'activité de transport), plutôt que les coûts marginaux (coût additionnel engendré par une unité supplémentaire), ce qui nous a conduit à écarter certaines sources potentielles. L'intérêt de privilégier l'un plutôt que l'autre concept dépend de ce que l'on cherche à mesurer. Le coût moyen présente en quelque sorte l'impact individuel lorsqu'on considère que les responsabilités sont partagées entre usagers. Il est particulièrement adapté à l'évaluation de nouvelles infrastructures de transport. Le coût marginal envisage quant à lui l'impact supplémentaire de l'usager nouveau qui viendrait s'ajouter aux usagers existants. Il permet d'envisager l'impact d'évolutions de trafic sur des infrastructures existantes.

Nous avons autant que possible privilégié les sources estimant les différents types d'impacts pour la Wallonie, en particulier pour les accidents. De manière générale, nous avons adopté une approche pragmatique en reprenant des valeurs déjà estimées ailleurs lorsque les données n'étaient pas disponibles pour la Région wallonne.

Les valeurs unitaires des différents types d'effet sont présentées dans le corps du rapport ainsi que dans un tableur Excel et ne sont pas reprises ici.

L'estimation des coûts totaux par type de véhicule (voir graphique suivant) donne un aperçu de l'ampleur des impacts cumulés du transport routier par rapport aux autres modes de transport. Les volumes d'accidents, d'émissions de gaz à effet de serre, de pollution de l'air et de bruit dépassent largement ceux des modes ferroviaires et de la voie d'eau. À cela s'ajoute l'impact de la congestion routière. Cette prépondérance du mode routier dans les effets externes traduit tout d'abord la prédominance de la route dans la répartition modale du transport de voyageurs comme de marchandises. D'autre part, le transport routier individuel, non massifié, décentralisé et très dépendant des énergies fossiles engendre généralement des externalités négatives par voyageur ou tonne transporté supérieures aux couts externes des autres modes.



Trois grands types de mesures pourront permettre de réduire les externalités négatives liées aux activités de transport :

- **Réduction des effets au niveaux des véhicules ou de l'infrastructure** : électrification du parc automobile, aménagement des voiries, électrification de lignes ferroviaires, etc.
- **Report modal** de la route vers les modes massifiés lorsque possible, en gardant en vue que les modes de transport ne sont pas toujours substituables, particulièrement en ce qui concerne le transport de marchandises au sein de la Région.
- **Réduction de la demande**, sans doute le levier le plus ambitieux, c'est-à-dire des volumes et/ou des distances parcourues par le biais de l'aménagement du territoire et d'une politique tarifaire et fiscale permettant aux utilisateurs des transports de tenir compte des coûts externes qu'ils engendrent.

Table des matières

1. OBJET ET ENJEUX DE L'ÉTUDE 7

1.1. OBJET DU DOCUMENT 7

1.2. ENJEUX ENVIRONNEMENTAUX ET ÉCONOMIQUES 7

1.3. OBJECTIFS ET CHAMP DE L'ÉTUDE 8

2. PARTIE 1 : BENCHMARK ET CHOIX DES VALEURS DE RÉFÉRENCE 10

2.1. ACCIDENTS 12

2.2. BRUIT 21

2.3. POLLUTION DE L'AIR 26

2.4. CHANGEMENT CLIMATIQUE 37

2.5. EFFET DE COUPURE 41

2.6. EFFETS AMONT ET AVAL 47

2.7. COÛTS DE LA CONGESTION 50

3. PARTIE 2 : CALCUL DU COÛT EXTERNE TOTAL PAR TYPE DE COÛT 53

3.1. ACCIDENTS 53

3.2. BRUIT 54

3.3. POLLUTION DE L'AIR 55

3.4. CHANGEMENT CLIMATIQUE 56

3.5. EFFET DE COUPURE 56

3.6. EFFETS AMONT ET AVAL 57

4. PARTIE 3 : CALCUL DES COÛTS EXTERNES UNITAIRES PAR TYPE DE COÛT 58

4.1. ACCIDENTS 59

4.2. BRUIT 62

4.3. POLLUTION DE L'AIR 65

4.4. CHANGEMENT CLIMATIQUE 68

4.5. EFFET DE COUPURE 70

4.6. EFFETS AMONT ET AVAL 71

5. PARTIE 4 : CALCUL DU COÛT EXTERNE UNITAIRE PAR TYPE DE VÉHICULE 73

6. CONCLUSIONS 83

7. ANNEXE A – VALEURS DE RÉFÉRENCE DE COÛTS EXTERNES UTILISÉES EN FLANDRE ET EN RÉGION BRUXELLES-CAPITALE 84

8. LEXIQUE 86

8.1. TERMES DE SCIENCES ÉCONOMIQUES 86

8.2. UNITÉS ET ABRÉVIATIONS 86

1. OBJET ET ENJEUX DE L'ÉTUDE

1.1. Objet du document

Le présent document est le rapport de l'étude réalisée par Stratec pour le compte du SPW Mobilité et Infrastructures et visant à mettre en place un référentiel de valeurs adaptées à la Wallonie pour l'évaluation socio-économiques de projets et politiques de transport. Il s'agit également dans un deuxième temps d'estimer les valeurs des coûts externes générés par les activités de transport en Wallonie.

1.2. Enjeux environnementaux et économiques

En Wallonie, la consommation énergétique annuelle du secteur des transports (voyageurs et marchandises) est estimée à 36,4 TWh , pour l'année 2016, soit 29,0%[1] de l'énergie finale, derrière les ménages et l'industrie. Cette énergie provient à 94,2% des produits pétroliers[1] et le secteur pèse ainsi près de 24,5% des émissions de gaz à effet de serre (GES), soit le deuxième plus gros contributeur, derrière l'industrie[2].

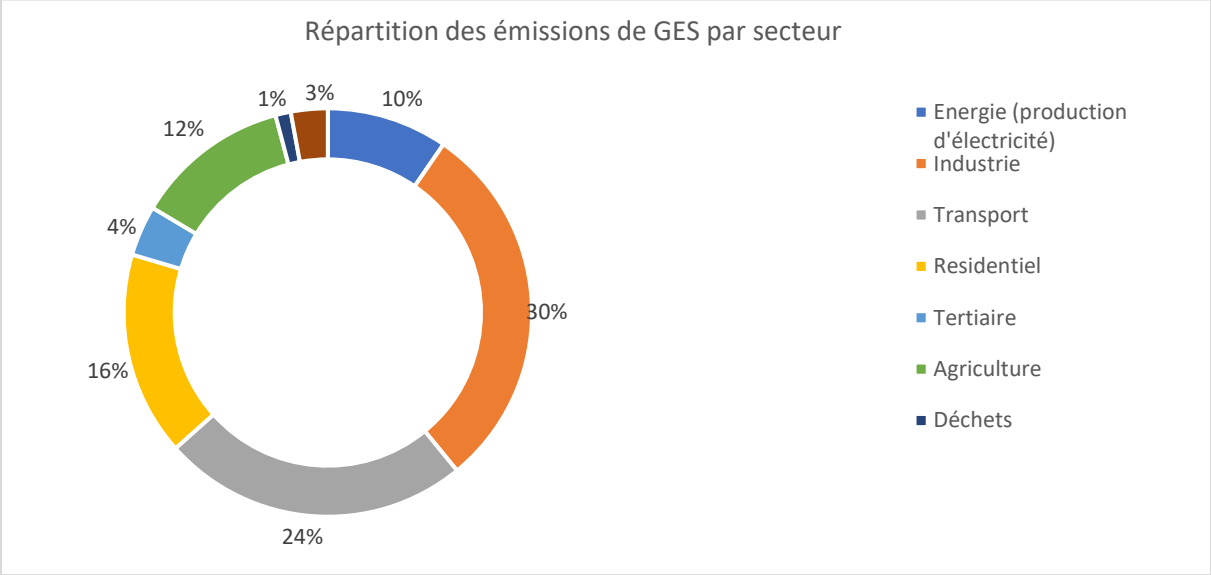


Figure 1 - Répartition des émissions de GES par secteur en Wallonie en 2019 (Source : AwAC)

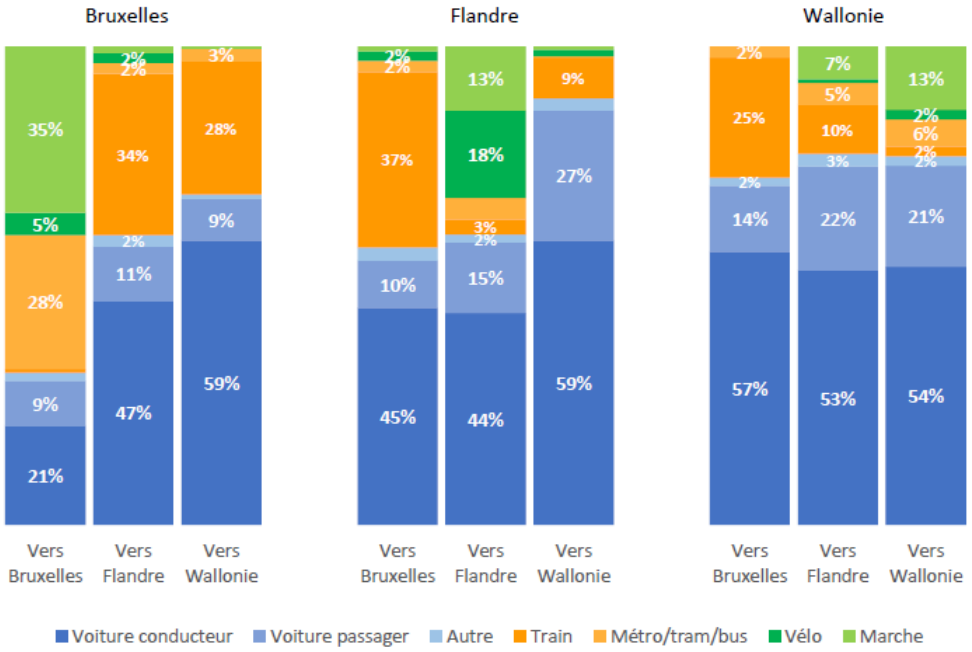
Alors que les émissions globales de la Wallonie ont diminué de 33,3% entre 1990 et 2019 (hors secteur forestier), celles des transports ont augmenté. Leur dans le total des émissions wallonnes a par conséquent augmenté considérablement, vu qu'elle n'était que de 12,5% en 1990[2]. Le mode routier correspond à environ 85% des émissions des transports, contre 13% de l'aérien et moins de 2% pour le ferroviaire[1].

Il est aussi intéressant d'observer les différences entre les régions belges. La part modale du transport routier est souvent plus élevée en Wallonie qu'en Flandre ou à Bruxelles aussi bien pour les voyageurs (voir graphique ci-dessous) que pour le fret (environ 83% en 2010[3] contre 77% pour l'ensemble de la

[1] Bilan énergétique de la Wallonie, 2016. Disponible sur spw-dgo4-energie-bilanenergetiquewallonie2016-transports-avril2018.pdf
[2] Données de l'AwAC pour l'an 2019
[3] http://etat.environnement.wallonie.be/contents/indicatorsheets/TRANS%202.html

Belgique[4]). Ceci est notamment dû à la situation géographique de la Wallonie (densité de population plus faible, réseaux multimodaux plus favorables à la route).

Répartition modale (en nombre de déplacements), en fonction de la Région de départ et d'arrivée (enquête MONITOR 2017)



Déclinant les objectifs européens et mondiaux (accord de Paris) à son échelle, la Région Wallonne s'engage par moyen de politiques tels que le plan air climat énergie (PACE) et la stratégie régionale de mobilité (SRM) à réduire ses impacts environnementaux, notamment en décarbonant ses différentes activités, y compris les transports. Il est donc nécessaire de connaître le poids économique des externalités négatives engendrées afin de les comparer aux avantages socio-économiques générés par les activités de transport et favoriser ainsi un développement durable de l'économie.

Ainsi, la Région wallonne a déjà développé ses réflexions sur le sujet à la fois au niveau descriptif, (exemplede l'étude de Nayes E. et Arnold P. (CIEM) de 2010) et normatif, comme par exemple la la Stratégie Régionale de Mobilité. Les volets 1 et 2 decette stratégie régionale, concernant respectivement la mobilité des personnes, et le transport de marchandises ont été adoptés par le Gouvernement wallon en septembre 2019 (pour le volet 1) et en octobre 2020 (pour le volet 2).

Il s'agit donc dans le cadre de ce rapport de mettre à jour et de développer les analyses déjà réalisées sur le sujet des coûts externes, notamment en 2010 afin de guider les politiques publiques en matière de transport et d'environnement (tarification, subsides, investissements publics, etc.).

1.3. Objectifs et champ de l'étude

Contrairement aux deux autres Régions belges, la Région wallonne ne dispose pas encore de référentiel fixant des valeurs aux différents types d'externalités négatives. Les référentiels disponibles pour ces deux régions sont présentés dans l'annexe A. Différentes valeurs et méthodes sont donc utilisées pour différentes études, les résultats n'étant donc pas toujours comparables.

[4] https://mobilit.belgium.be/sites/default/files/chiffres_cles_mobilite_2016.pdf

L'objectif premier de cette étude est donc de déterminer, sur la base de travaux déjà réalisés, un cahier de valeurs tutélaires adaptées à la situation géographique et socio-économique de la Wallonie.

Le deuxième objectif est ensuite de réaliser une estimation des coûts externes générés par les principales activités de transport en Wallonie, en distinguant l'impact par mode et type de demande (voyageurs ou marchandises).

En sciences économiques, on appelle externalité, par opposition aux coûts internes, un effet engendré par les choix d'un acteur mais supporté par d'autres acteurs, sans que cet effet ne soit pris en compte (internalisé) par l'émetteur. Par exemple, lorsqu'une personne décide de se déplacer en voiture, elle supporte un coût interne (carburant, entretien et dépréciation du véhicule, etc.), mais elle génère également des coûts externes pour les riverains (pollution de l'air, bruit), les autres usagers de la route (risque d'accident) et pour la société dans son ensemble (émissions de gaz à effet de serre).

En matière de transport, la demande globale et la répartition modale dépendent notamment des prix proposés aux usagers. La valeur des externalités n'est pas, ou peu, prise en compte par la personne effectuant le choix de se déplacer. La non-prise en compte des coûts externes dans la formation de ces prix entraine une surconsommation de transport et un accroissement du trafic et donne un avantage concurrentiel relatif aux modes dont les coûts externes sont les plus élevés.

Les externalités peuvent aussi être positives, quand il s'agit d'un avantage reçu par une personne ou un groupe, sans contrepartie. La mobilité peut générer des bénéfices externes, ce qui peut être exemplifié par les effets de la mobilité active sur la santé. Dans le cas de la mobilité active, l'exercice physique se traduit par des bienfaits pour la santé, lesquels profitent d'une part à la personne se déplaçant à pied ou à vélo, et qui sont dès lors à considérer comme des bénéfices internes. Mais l'exercice physique fait à l'occasion a également des effets positifs pour la société dans son ensemble, à savoir une diminution des cas de maladie et, partant, une hausse de la productivité des travailleurs ainsi qu'une baisse des coûts pour le système de santé publique et pour les assurances sociales. Il s'agit là de bénéfices externes car ils profitent à la communauté et non pas directement aux piétons ou aux cyclistes. Les externalités positives des transports ne font toutefois pas partie du scope de l'étude.

Les activités de transport sont multiples, seules celles présentant les principaux enjeux de politique publique en Région wallonne ont été retenues ici. Le mode aérien, fort émetteur d'émissions de CO_2 par passager-kilomètre, n'est pas intégré dans l'analyse car il s'agit d'une problématique touchant davantage les niveaux fédéral et européen, voire mondial, que régional. Rappelons cependant que les valeurs tutélaires proposées ici (coût de la tonne de CO_2 équivalent par exemple), pourraient être réutilisées le cas échéant pour évaluer l'impact de mesures relatives au mode aérien. Les modes actifs ne sont pas non plus pris en compte dans cette étude, puisque des études déjà conduites indiquent des faibles coûts externes, à savoir, les accidents et les effets liés au cycle de vie des vélos. Des études comme celle de TML pour la Région Flamande (2016) et celle d'INFRAS pour la Suisse (2017) indiquent des bilans positifs (plus de bénéfices externes que de coûts externes).

Enfin, nous nous intéressons ici aux coûts moyens (coût total divisé par une mesure de l'activité de transport), plutôt qu'aux coûts marginaux (coût additionnel engendré par une unité supplémentaire). L'intérêt de privilégier l'un plutôt que l'autre concept dépend de ce qu'on cherche à mesurer. Le coût moyen présente en quelque sorte l'impact individuel lorsqu'on considère que les responsabilités sont partagées entre usagers. Le coût marginal envisage l'impact supplémentaire de l'usager nouveau qui viendrait s'ajouter aux usagers existants.

2. PARTIE 1 : BENCHMARK ET CHOIX DES VALEURS DE RÉFÉRENCE

La première partie de la méthodologie choisie consiste à définir des valeurs unitaires de référence pour chaque type de coût externe analysé, par mode de transport, segment de marché (voyageurs ou fret) et par type d'infrastructure. Nous nous intéressons aux valeurs unitaires par véhicule-kilomètre, puisque ce sont bien les véhicules qui engendrent ces coûts, mais également par personne-kilomètre, ou par tonne-kilomètre, pour pouvoir comparer différents modes de transport sur la même base.

Les modes et types de véhicules pour lesquels nous proposons des coûts unitaires pour la Wallonie sont :

- Mode routier : VP (essence, diesel, électrique) ; 2RM ; TC ; PL et VUL (essence et diesel).
- Mode ferroviaire : train de passagers (électrique et diesel) et train de fret (électrique et diesel).
- Mode fluvial : bateaux en navigation intérieure.

Pour ce faire, nous analysons, une dizaine de références bibliographiques majeures portant sur les coûts externes des transports produites pour des pays européens voisins et pour l'UE. Pour chaque référence, les valeurs attribuées aux coûts externes ainsi que les méthodologies de calcul et les particularités de chaque pays ou région d'étude sont envisagées et prises en compte autant que possible.

Le tableau 1 reprend les références retenues. Les numéros attribués seront repris à travers lerapport pour indiquer dans les tableaux de valeurs de référence de quelle source provient l'information.

Tableau 1 - Références retenues pour l'étape de benchmarking

Référence	Numéro
TREMOD, 2020	3
Commission Européenne, 2019	4
Commission Européenne, 2014	5
EIB, 2013	6
CE Delft, 2017	7
Department for Transport, 2020	8
Ministère de la Transition Écologique, 2020	10
Rapport Quinet, 2013	11
Rapport Quinet, 2019	12
Ministère de la Transition Écologique, 2014	13
INFRAS & Ecoplan, 2018	14
Bureau Fédéral du Plan, 2020	16
Crozet, 2017	17
Document de travail des services de la Commission, 2008	18
Baum *et al.*, 2008	19
CIEM, 2010	20
TM Leuven, 2016	21
INFRAS & CE Delft, 2008	22

Enfin, pour tenir compte de l'évolution des prix (inflation), nous comparons les valeurs en euros chaînés, en actualisant les prix à l'aide de l'indice des prix à la consommation. Pour neutraliser l'impact de hausses régulières des accises sur le prix du tabac, nous utilisons l'indice des prix à la consommation hors tabac, comme recommandé par l'instruction française. Cet indice, qui n'est pas publié directement par Statbel, est donné par Eurostat pour la Belgique et les autres pays européens (base Eurostat prc_hicp_midx, indice TOT_X_TBC).

2.1. Accidents

2.1.1. DESCRIPTION DES COÛTS

Un accident de transport représente des pertes pour la société sur plusieurs aspects : des coûts humains, médicaux, administratif, des pertes de production et des dommages matériels. L'analyse des références traitant ce sujet permet de constater qu'il n'existe pas de consensus pour déterminer quelles composantes des accidents sont internes et lesquelles sont des coûts externes. Un récapitulatif des composantes du coût externe des accidents prises en compte dans le calcul par les références retenues est présenté dans le Tableau 22.

Il s'agit principalement d'évaluer le coût des accidents de la route, les accidents ferroviaires et fluviaux étant trop rares pour être réestimés pour la Wallonie.

Tableau 2 - Coûts engendrés par les accidents

Classes de coûts	Description
Coûts humains	Attribue une valeur monétaire à la souffrance provoquée par les accidents. Dans le cas de blessure, elle comprend la douleur de la victime. Dans le cas de décès, elle comprend sa perte d'utilité économique.
Coûts médicaux	Ce sont les coûts des traitements médicaux demandés par les victimes d'accidents entre le moment de l'accident et la guérison complète (ou le décès).
Coûts administratifs et de service public	Coûts couvrant les dépenses de mobilisation de police, pompiers et autres services d'urgence (hors médicales), ainsi que les coûts juridiques.
Pertes de production	Coûts des pertes de production dues à la réduction de temps de travail dû à l'accident et le coût de remplacement du capital humain perdu. Les pertes liées au travail hors marché (bénévolat et au foyer) doivent être pris en compte. Une partie de ces coûts est internalisé par moyen des assurances.
Dommages matériels	Dommages engendrés aux véhicules, infrastructures, marchandises et autres biens.

Par rapport aux coûts humains, d'après la Commission Européenne[5], il peut être entendu que les participants du trafic ont conscience du risque qu'ils prennent en faisant leur choix de déplacement, et dans ce cas, ils internalisent le risque dans leur choix et les éventuels coûts humains de leur blessure ou décès. Toutefois, quand un participant du trafic fait d'un tiers une victime d'un accident, le coût humain de ce dernier est externe à la prise de décision du premier. La part de ce coût qui n'est pas prise en charge par une assurance payée par le collectif des usagers du trafic est donc un coût externe.

Il convient de noter que cette définition ne fait pas unanimité. Baum *et al.* (2008)[6] argumentent que les coûts humains des accidents de transport sont toujours internalisés.

Quant aux coûts médicaux, dans beaucoup de cas, une partie des coûts est internalisée par le paiement de primes d'assurance de la part de la victime. Il est estimé que 50% de ces coûts restent externes[5].

[5] « Handbook on the external costs of transport, version 2019 ». European Commission. 2019

[6] « External Costs in the Transport Sector – A Critical Review of the EC Internalisation Policy », Baum *et al.* 2008.

Pour les coûts administratifs et liés aux services publics, ils peuvent être considérés, ainsi que les services de secours, en tant que coûts fixes et indépendants de l'occurrence de l'accident[7]. Certes, la mobilisation de ces services pour répondre aux accidents de transport est prévue dans leurs coûts de fonctionnement. Toutefois, il est aussi vrai que ces coûts fixes sont dimensionnés en accord avec les besoins habituels de la société. Pour une approche évaluant les coûts marginaux, la prise en compte des coûts administratifs aurait peu de signification, mais comme cette étude se concentre sur les coûts moyens, il reste pertinent d'inclure les coûts administratifs et de services d'urgence médicale (part non prise en compte par les assurances).

Enfin, les coûts des dommages matériels représentent bien un coût social, mais sont couverts par les assurances, donc ne sont pas des coûts externes. Ce sont des coûts internalisés par les usagers par moyen des primes d'assurance. C'est pourquoi ce type de coût doit être pris en compte dans les analyses socio-économiques, comme indiqué par l'instruction cadre française pour l'évaluation socio-économique des infrastructures de transport (2014), par l'étude SafetyCube (2017) et par COST313 (1994), mais pas dans les analyses focalisées purement sur les coûts externes, qui est le scope de la présente étude. Ces coûts seront donc exclus de l'analyse, comme instruit par la Commission Européenne et l'étude de Nayes E. et Arnold P. (CIEM) de 2010 pour la Wallonie.

2.1.2. MÉTHODOLOGIE

Le guide de la Commission Européenne propose la méthodologie illustrée par la Figure 2 pour déterminer les valeurs unitaires des coûts externes liés aux accidents. Cette méthodologie est utilisée par des études de référence dans le domaine telles que celles de CE Delft et VU Amsterdam (2004) et CE Delft, INFRAS et Fraunhofer ISI (2011).

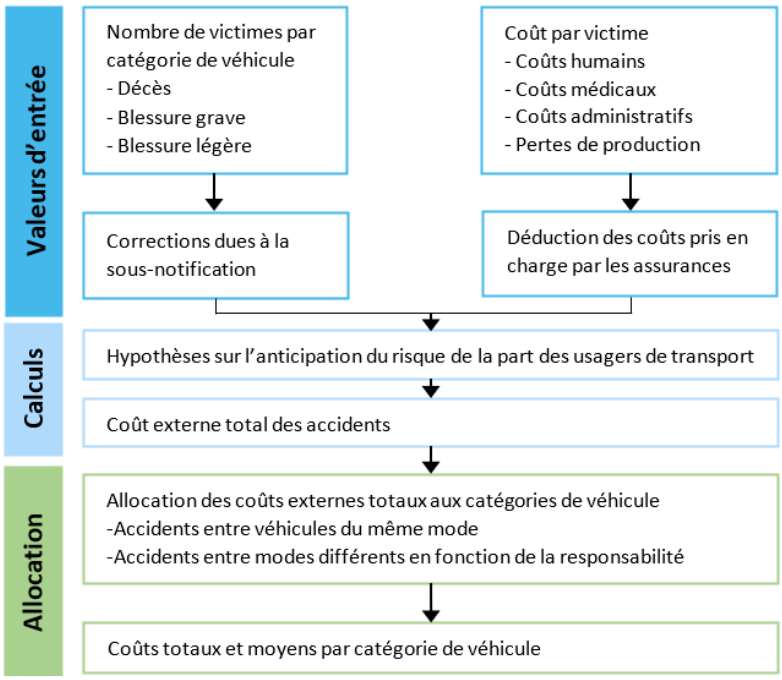


Figure 2 - Méthodologie pour déterminer les coûts des accidents (source : Commission Européenne, 2019)

Le nombre de victimes attribué à une catégorie de véhicule sera la moyenne annuelle des victimes d'accidents occupant le véhicule opposé lors de l'accident. En plus de cela, nous prenons en compte les accidents où un seul véhicule était impliqué : le coût externe de cette victime sera donc attribué à ce type de véhicule, en retranchant toutefois le coût humain, pour rester cohérent au principe que le

[7] « Évaluation des coûts externes liés au transport en Région Wallonne ». CIEM. 2010.

coût humain est supporté par l'occupant du véhicule qui internalise ce risque dans le choix du mode de déplacement.

Pour les coûts engendrés autres que les coûts humains, la Commission Européenne (2019) rappelle que ces coûts sont en partie externes et en partie internes. En suivant ses recommandations, nous considérons 55% des coûts de pertes de production, 50% des coûts médicaux et 30% des coûts administratifs comme étant des coûts externes.

Il convient de préciser que les statistiques belges d'accidents routiers informées par STATBEL utilisent cette même classification de gravité des blessures (léger/grave/fatalité), et peut donc être reprise ici.

Toutefois, une classification commune européenne différente est adoptée depuis 2014 : il s'agit de la Abbreviated Injury Scale (AIS) avec les niveaux 1 et 2 correspondants aux blessés légers, les niveaux 3 à 5 correspondants aux blessés graves et le niveau 6 correspondant aux fatalités. Cette classification pourrait venir à être adoptée en Belgique, auquel cas il sera possible de conserver la méthodologie proposée, grâce à cette correspondance directe entre les classifications. Néanmoins, l'ajustement du critère permettrait de mieux décomposer les accidents, et ainsi, augmenter la précision du calcul.

2.1.3. DONNÉES D'ENTRÉE

2.1.3.A. NOMBRE DE VICTIMES D'ACCIDENTS ROUTIERS

Les nombres de victimes d'accidents de la route recensés par les procès-verbaux policiers par catégories de véhicules et par gravité pour la Wallonie en pour la période 2018-2019 (donc sur deux années) ont été obtenues auprès de l'agence wallonne pour la sécurité routière (AWSR) : **584 personnes décédées**, **1 884 grièvement blessées** et **26 300 légèrement blessées**. Les victimes d'accidents sans blessures ne sont pas retenues dans le cadre de ce calcul.

Ces catégories sont définies comme suit : une personne est comptée comme décédée si elle décède dans les 30 jours suivant l'accident. Une personne est dite gravement blessée si elle est hospitalisée pour une durée supérieure à 24 heures, mais ne décède pas dans les 30 jours suivant l'accident. Finalement, un blessé léger est celui qui est blessé mais n'entre pas dans la catégorie des blessés graves.

Il est important de souligner que les victimes comptabilisées sont celles ayant souffert un accident reporté à la police, ayant fait l'objet d'un procès-verbal. Tous les accidents ne sont pas nécessairement reportés à la police, ce qui signifie que les chiffres reportés sont une sous-estimation des nombres réels de victimes. C'est pourquoi ils seront corrigés par des facteurs, comme indiqué en 0.

Le détail des victimes d'accidents pendant la durée 2018-2019 par type de véhicule occupé par la victime et par type de véhicule auquel elle est opposée est présenté en 3 tableaux, un pour chaque

niveau de gravité. Nous attirons l'attention sur le fait que la ligne autobus/autocar regroupe, comme son nom l'indique, les services de bus du TEC et les cars privés.

Tableau 3 - Personnes décédées dans les 30 jours à la suite d'une collision en Wallonie entre 2018 et 2019 (source : AWSR)

		Son opposant dans la première colllision										
		Seul	Piéton	Bicyclette	Cyclomoteur	Motocyclette	Voiture	Camionnette	Camion	Autobus/autocar	Autre	Inconnu
L'usager qui est décédé	Piéton	0	0	0	0	2	48	5	7	1	1	1
	Bicyclette	7	0	0	0	0	15	1	2	1	1	0
	Cyclomoteur	4	0	0	0	1	5	0	1	0	0	0
	Motocyclette	37	0	0	1	1	38	2	5	0	0	0
	Voiture	177	1	1	0	3	80	9	43	4	3	0
	Camionnette	12	1	0	0	0	2	0	6	0	2	0
	Camion	5	0	0	0	0	0	0	6	0	1	0
	Autobus/autocar	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0
	Autre	3	0	0	0	0	3	0	0	0	2	0
	Inconnu	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	Total	245	2	1	1	7	192	17	70	6	10	1

Tableau 4 - Personnes gravement blessées à la suite d'une collision en Wallonie entre 2018 et 2019 (source : AWSR)

		Son opposant dans la première colllision										
		Seul	Piéton	Bicyclette	Cyclomoteur	Motocyclette	Voiture	Camionnette	Camion	Autobus/autocar	Autre	Inconnu
L'usager qui est grièvemet blessé	Piéton	0	0	0	1	5	167	12	6	2	2	0
	Bicyclette	37	0	3	0	1	77	7	2	0	1	0
	Cyclomoteur	31	1	0	0	0	49	4	1	0	0	0
	Motocyclette	94	2	0	0	7	145	16	5	0	4	0
	Voiture	479	0	1	1	2	368	34	55	6	7	0
	Camionnette	22	0	0	0	0	13	6	16	3	4	0
	Camion	5	0	0	0	0	3	0	8	0	0	0
	Autobus/autocar	1	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0
	Autre	8	0	0	0	0	2	0	0	0	1	0
	Inconnu	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	Total	677	3	4	2	15	825	79	93	11	19	0

Tableau 5 - Personnes légèrement blessées à la suite d'une collision en Wallonie entre 2018 et 2019 (source : AWSR)

		Son opposant dans la première colllision										
		Seul	Piéton	Bicyclette	Cyclomoteur	Motocyclette	Voiture	Camionnette	Camion	Autobus/autocar	Autre	Inconnu
L'usager qui est légèrement blessé	Piéton	0	2	43	25	19	1885	100	17	56	10	7
	Bicyclette	190	19	64	9	15	889	51	16	14	7	4
	Cyclomoteur	328	8	7	10	5	720	36	15	10	8	5
	Motocyclette	526	12	14	4	68	861	63	17	5	6	3
	Voiture	4750	14	12	19	74	9734	737	569	112	88	13
	Camionnette	220	2	0	1	4	381	73	87	7	12	0
	Camion	81	0	0	0	0	42	16	79	2	1	0
	Autobus/autocar	110	5	0	0	1	113	7	4	12	2	0
	Autre	47	0	1	1	2	48	5	4	1	1	0
	Inconnu	4	0	0	0	0	2	0	0	0	0	0
	Total	6256	62	141	69	188	14675	1088	808	219	135	32

Pour les accidents ferroviaires, nous reprenons les chiffres publiés par Infrabel pour l'an 2019, qui indiquent 45 accidents en passages à niveau, avec 8 personnes décédées et 6 blessés graves sur tout le territoire belge. Nous n'avons pu obtenir des données précisément pour la Wallonie. Quant aux intrusions, elles ont provoqué 1 décès et 3 blessures graves. Nous considérons que ces accidents sont fruit d'une prise de risque consciente de l'usager qui envahit la voie ferrée, leurs coûts humains n'étant donc pas prises en compte dans le calcul des coûts externes. Le coût externe des accidents opposant des trains et des véhicules routiers est attribué aux VP, ce qui ne va finalement pas être très significatif, par rapport au coût externe des accidents pour cette catégorie de véhicule.

2.1.3.B. CORRECTIONS DUES À LA SOUS-NOTIFICATION

Les facteurs de correction utilisés pour la sous-notification sont retirés du guide de 2019 de la Commission Européenne et indiqués dans le Tableau 6 et qui suppose que la moitié des blessés légers ne sont pas référencés pour les VL, PL et bus (facteur 2), alors que seul un tiers des blessés légers en véhicules deux roues motorisés (facteur 3) le sont. Un blessé grave sur 5 ne serait pas identifié (facteur 1,25), alors tous les décès sont supposés connus. Une étude néerlandaise de Bos N. *et al.* (2009)[8] sur la correction des chiffres d'accidents due à la sous-notification retrouve des proportions très cohérentes, avec environ 50% des occurrences provoquant des blessures recensées par la police. Comme les statistiques de STATBEL considèrent les données de la police, sans correction, nous choisissons de reprendre ces facteurs de correction.

Tableau 6 - Facteurs de correction dus à la sous-notification (source : Commission Européenne)

Type de véhicule	Blessés légers	Blessés graves	Fatalités
Voiture, VUL, PL, bus	2,00	1,25	1,00
Deux roues motorisés	3,20	1,25	1,00

Les valeurs corrigées par type de véhicule sont synthétisées dans le Tableau 7.

Tableau 7 - Valeurs d'accidents en 2019 par type de véhicule et gravité corrigées de la sous-notification

Type de véhicule	Blessés légers	Blessés graves	Fatalités
Voiture	16 708,00	667,50	177,00
Deux roues motorisés	2 566,40	158,75	45,00
TC routier	290,00	0	0
Camion	132,00	7,50	4,00
Camionnette	836,00	43,75	9,00

Pour le transport ferroviaire, nous considérons qu'il n'y a pas de sous-notification à corriger. Il convient de noter que les blessures légères ne sont pas prises en compte dans les rapports d'Infrabel ni de l'*European Union Agency for Railways* (ERA). Étant donné le manque de sources de référencement, ces blessures seront négligées dans le calcul, conduisant à une sous-estimation relativement négligeable. Les coûts externes des accidents entre véhicules routiers et trains sont attribués au mode routier, compte tenu des circonstances indiquant une prise de risque de la part des usagers de la route, plutôt qu'un risque intrinsèque au mode ferroviaire. Les coûts externes que nous retiendrons pour les trains seront ainsi ceux proposés par la Commission Européenne.

La Wallonie ne dispose pas de statistiques relatives aux accidents provoqués par la navigation intérieure. Nous reprendrons ainsi les valeurs unitaires proposées par la Commission Européenne, en les actualisant.

[8] https://www.itf-oecd.org/sites/default/files/docs/4-bos2.pdf

2.1.3.C. VICTIMES D'ACCIDENTS FERROVIAIRES

Les accidents au sein du mode ferroviaire ne sont pas suffisamment fréquents pour que des statistiques annuelles soient représentatives du risque d'accidents. Faute de sources officielles, nous reprenons un relevé des principaux accidents ferroviaires recensés en Belgique sur la période 2007-2017 (Tableau 8) tels que présentés dans divers articles de presse.

Tableau 8 : Accidents ferroviaires survenus en Belgique entre 2007 et 2017

Date	Lieu	Nombre de morts	Nombre de blessés graves	Nombre de blessés légers
18 février 2017	Louvain	1	3	24
5 juin 2016	Saint-Georges-sur-Meuse	3	4	6
3 novembre 2014	Linkebeek	0	0	16
4 mai 2013	Schellebelle	1	0	17
15 septembre 2010	Arlon	0	0	23
15 février 2010	Hal	19	11	151
19 novembre 2009	Mons	1	1	1

Celui de 2013 étant le seul provoqué par un train de marchandises, nous aboutissons à une moyenne de 2,4 décédés, 1,9 blessés graves et 22,1 blessés légers par an sur les trains de passagers, contre 0,1 décédés, aucun blessé grave et 1,7 blessés légers par an pour les trains de marchandises.

2.1.3.D. VICTIMES D'ACCIDENTS DE LA NAVIGATION INTÉRIEURE

La navigation intérieure est un mode de transport de marchandises réputé très sûr et nous n'avons pas connaissance d'accident survenu sur le réseau fluvial wallon ayant entrainé des blessés ou des morts. Les éventuels dégâts au niveau des marchandises et dommages aux infrastructures sont considérés en revanche entièrement internalisés par moyen d'assurances.

La littérature consultée n'est pas unanime sur les coûts unitaires des accidents pour la navigation intérieure : Tandis que le Handbook réalisé pour la Commission Européenne indique des coûts unitaires à la tonne-km équivalents pour la navigation intérieure et les trains de fret, de 0,1 c€, l'étude INFRAS/IWW de 2004, reprise par le CIEM en 2010 pour l'étude des coûts externes des transports en Wallonie, néglige entièrement le coût des accidents pour les trains de fret et la navigation intérieure. C'est pourquoi nous considérons que les coûts externes des accidents pour la navigation intérieure en Wallonie est négligeable.

2.1.3.E. COÛT PAR VICTIME

Le coût par victime reprend les composantes de coût mentionnées au 2.1.1. Pour chaque composante, les études de référence indiquent des méthodes différentes d'estimation adaptées à chaque situation. Nous avons choisi de reprendre les approches recommandées par l'étude SafetyCube (2017), un projet de recherche financé par la Commission Européenne et une des principales études européennes récentes dans le domaine des coûts d'accidents.

SafetyCube indique l'approche de restitution des coûts pour les coûts médicaux et administratifs, c'est-à-dire, combien la victime ou sa famille auraient évité de dépenser si l'accident ne s'était produit. Pour les pertes de production, elle propose l'approche du capital humain, qui évalue ce que la victime aurait pu produire en plus si elle n'avait été touchée par l'accident. Pour les coûts humains, en revanche, elle propose l'approche WTP, de l'anglais *willingness to pay*, qu'elle considère plus solide du point de vue théorique que d'autres méthodes parfois utilisées, fondées sur les indemnisations accordées par la

justice ou sur les dépenses privées en assurances ou publiques en infrastructures de sécurisation routière, qui arrivent le plus souvent à des valeurs nettement inférieures.

Les coûts humains correspondent à la principale composante du coût et sont typiquement calculés en fonction de la valeur de la vie statistique (VVS) ou valeur de prévention d'une fatalité. L'estimation de cette valeur est quelque chose de très complexe et qui varie fortement selon les sources. Plusieurs études européennes (ExternE, UNITE, HEATCO) et de pays européens la situent dans les alentours de 1 à 3 millions d'euros. L'étude de 2012 de l'OCDEsur la valeur de la vie dans ses états-membres indique une valeur de 3,6 millions d'euros en moyenne.

Le *Handbook on the external costs of transport* (Commission Européenne, 2019), propose sur base de cette étude de l'OCDE des coûts humains en euros$_{2016}$ des accidents pour la Belgique selon la gravité. Ils définissent le coût de la fatalité à 3 183 342 € (en retranchant la perte de consommation à la VVS, pour ne pas compter deux fois les pertes de consommation, vu qu'elle est comprise dans la composante perte de production), celui de la blessure grave à 513 206 € (13% de la VVS) et celui de la blessure légère à 39 477 € (1% de la VVS). Ces pourcentages sont recommandés par les principales études de référence dans le domaine, comme ECMT (1998), HEATCO (2006) et SafetyCube (2017).

Nous retenons pour la Wallonie dans le cadre de cette étude les valeurs proposées pour la Belgique par la Commission Européenne, corrigées par le ratio revenu par habitant wallon / revenu par habitant belge (de 0,942 en 2016) pour les coûts humains et les pertes de production. Les coûts médicaux et administratifs de la Belgique sont repris tels quels, puisque nous considérons que les coûts des services publics de santé et de police ne varient pas significativement d'une région à l'autre de la Belgique. De plus, ils ne représentent qu'une bien faible part des coûts des accidents. La VVS d'une fatalité en Wallonie est donc estimé selon l'approche suivante :

$$VVS\ belge\ =\ €\ 3\ 947\ 738$$

$$VVS\ wallon = 0{,}942 \times VVS\ belge\ =\ €\ 3\ 718\ 059$$

Or, on obtient le coût humain de la fatalité en retranchant les pertes en consommation provoquées par la fatalité à la VVS. Donc, inversement, les pertes en consommation moyennes par décès en Belgique sont calculées en retranchant le coût humain à la VVS :

$$Pertes\ de\ consommation\ en\ Belgique = VVS\ belge - coût\ humain\ belge = €\ 764\ 396$$

Si nous faisons l'hypothèse que les pertes en consommation pour le temps de vie perdu sont proportionnelles à la consommation annuelle moyenne des ménages par habitant, il est possible de trouver une valeur de perte de consommation par fatalité en Wallonie en utilisant le ratio consommation par habitant wallon / consommation par habitant belge (de 0,941 en 2016).

$$Ratio\ consommation\ des\ ménages\ par\ habitant\ Wallonie/Belgique\ en\ 2018^{9}\ =\ 0{,}941$$

$$Pertes\ de\ consommation\ en\ Wallonie = 0{,}941 \times €\ 764\ 396 = €\ 719\ 241$$

Finalement, le calcul aboutit à un coût humain d'une fatalité pour la Wallonie.

$$Coût\ humain\ wallon = VVS\ wallon - Pertes\ de\ consommation\ en\ Wallonie = €\ 2\ 998\ 818$$

Pour actualiser les valeurs de coûts externes des accidents en Wallonie sur la période 2016-2019 dans le tableau 8, nous avons multiplié ces valeurs par l'indice des prix à la consommation (Overall index excluding tobacco) afin de tenir compte de l'inflation. Pour prendre en compte l'évolution réelle (coût absolu) des valeurs de ces coûts, il convient de les multiplier par l'évolution totale PIB/hab. sur la période donnée. Cette démarche d'actualisation est reprise pour l'ensemble des valeurs de coûts externes des accidents.

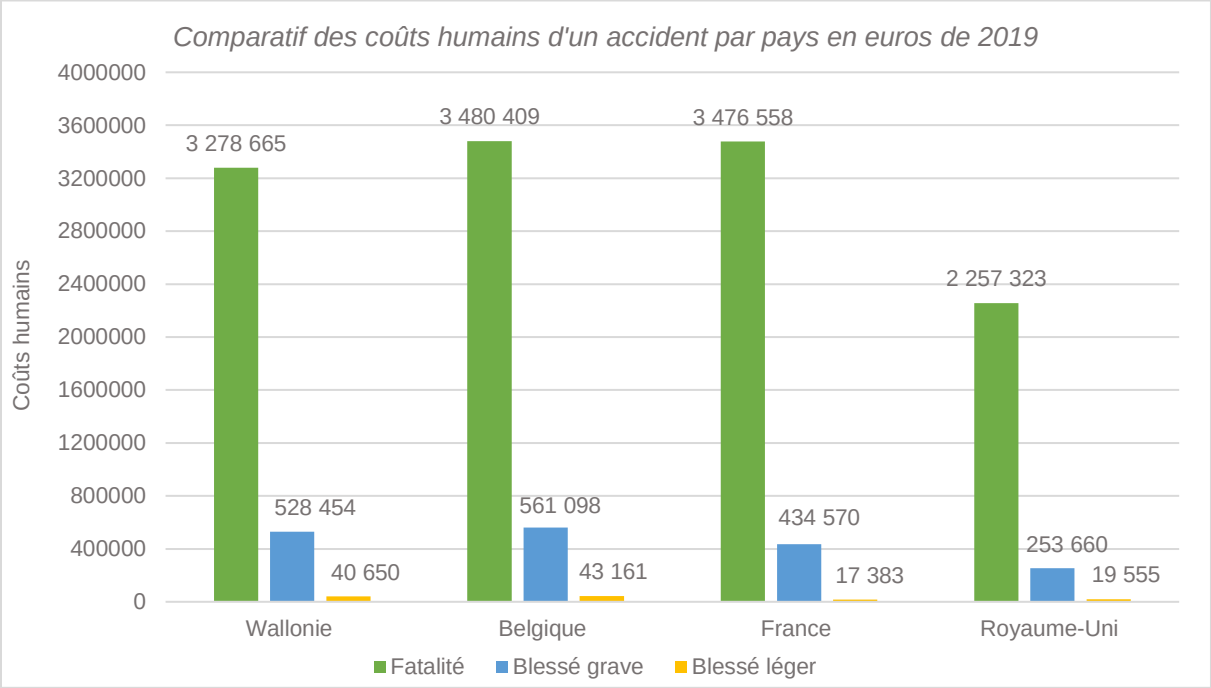
[9] https://www.iweps.be/indicateur-statistique/taux-deparqne-consommation-menages/

Tableau 9 - Coûts externes des accidents en Wallonie (€$_{2019}$)

Gravité de blessure	Coûts humains	Pertes de production	Coûts médicaux	Coûts administratifs	Coût total	Coût externe
Fatalité	3 316 450	410 975	3 287	2 305	3 733 017	3 544 821
Blessé grave	534 544	27 358	10 120	1 585	551 895	555 126
Blessé léger	41 118	1 674	871	681	44 345	42 679

Nous comparons les valeurs de coûts humains pour la Wallonie à celles considérées par des pays européens voisins, à l'aide du graphe en Figure 3. On peut noter que les ordres de grandeur sont respectés, avec toutefois quelques différences non-négligeables dues à des différences de méthodologie ou à des VVS différentes par pays. La valeur proposée de VVS pour la Belgique par la Commission Européenne est supérieure à la moyenne des pays de l'UE et cela se traduit en effet par des coûts humains plus élevés. Nous ne reprendrons pas ici les coûts d'un accident pour tous les pays de l'UE, mais ce détail peut être retrouvé dans le document de la Commission Européenne[5].

Figure 3 - Comparatif des coûts humains d'un accident entre la Wallonie, la Belgique, la France et le Royaume Uni (source : calculs propres à partir de Commission Européenne, 2019 et TAG Data Book, 2020)



2.1.4. VALEURS UNITAIRES DE COÛTS EXTERNES DES ACCIDENTS PROPOSÉES DANS LA BIBLIOGRAPHIE

Parmi les références bibliographiques consultées, nous retenons 3 qui nous indiquent des valeurs unitaires pour les coûts moyens des accidents : les références 4, 14 et 17 (Tableau 1).

Les valeurs de référence pour les coûts moyens des accidents par type de véhicule retrouvées dans la bibliographie sont synthétisées dans le Tableau 10 pour le transport de voyageurs et le Tableau 11 pour le fret.

Tableau 10 - Coûts externes unitaires des accidents retrouvés pour le transport de voyageurs

Zone géographique	UE		Suisse	France
N° de référence	4		14	17
Unité	c€$_{2019}$/personne.km	c€$_{2019}$/véhicule.km	c€$_{2019}$/personne.km	c€$_{2019}$/personne.km
VL	-	-	-	2,3
Voiture	5,0	8,0	-	-
Moto	14,0	14,7	-	-
TC routier	1,1	20,9	0,2	-
TàGV	0,1	19,1	-	-
Train conventionnel	0,6	57,7	-	-

Tableau 11 - Coûts externes unitaires des accidents retrouvés pour le fret

Zone géographique	UE		France	
N° de référence	4		17	
Unité	c€$_{2019}$/tonne.km	c€$_{2019}$/véhicule.km	c€$_{2019}$/tonne.km	c€$_{2019}$/ véhicule.km
VUL	6,6	4,5	-	1,7
PL	1,4	17,1	0,5	-
Train	0,1	37,7	0,1	-
Navigation intérieure	0,1	95,2	0,0	-

Il peut être remarqué que les valeurs varient, parfois considérablement. Elles serviront de référence et seront comparées à celles retrouvées pour la Wallonie à l'issue de nos calculs.

2.2. Bruit

2.2.1. DESCRIPTION DES COÛTS

Les nuisances sonores provoquent des effets négatifs sur le bien-être et la santé des humains comme des animaux, engendrant ainsi des coûts sociaux importants. L'augmentation des volumes de trafic s'accompagne d'une hausse des niveaux sonores. L'urbanisation s'organise le long des infrastructures de transport d'où proviennent ces nuisances, ce qui augmente d'autant leur impact. C'est pourquoi le bruit produit par les transports reste un enjeu important malgré les améliorations attendues des technologies des moteurs, pneus et chaussées.

Les effets du bruit sur les personnes exposées sont les seuls effets calculés dans cette section. S'il est tout à fait raisonnable de supposer que le bruit perturbe également d'autres espèces animales, le manque d'études de référence quantifiant ces effets ne permet pas de proposer des valeurs.

Les études de référence traitant du bruit des transports négligent la navigation intérieure, considérant qu'elle ne produit pas de nuisances significatives pour les humains, compte tenu des niveaux sonores réduits et de leur circulation souvent dans des espaces faiblement peuplés[5] [10]. Les modes routiers et ferroviaires constituent ainsi l'essentiel des nuisances sonores.

Les effets du bruit sur la santé qui sont repris dans ces études sont ceux pour lesquels leur relation avec le bruit est assez bien connue et acceptée, d'après l'Organisation Mondiale de la Santé (OMS), à savoir : maladie cardiovasculaire, accident vasculaire cérébral, démence, hypertension et la perturbation. Cette dernière est incluse, même ne s'agissant pas d'une maladie, parce qu'elle peut inhiber la réalisation de certaines activités, et perturbe le bien-être, pouvant mener à la dépression, la fatigue et la perturbation du sommeil.

La plupart des références qui ont pour objectif de tarifier les déplacements s'intéresse plutôt aux coûts marginaux, qui pour le bruit sont différents des coûts moyens. L'échelle des niveaux sonores (en dB) étant logarithmique, les variations de bruit ne sont pas linéaires avec l'augmentation de trafic.

2.2.2. MÉTHODOLOGIE

La méthodologie retenue pour le calcul des coûts externes associés au bruit est basée sur celle proposée par la Commission Européenne, illustrée dans la Figure 4. Elle permet de calculer les coûts externes totaux du bruit pour le transport routier et ferroviaire. Ensuite, le coût pour le transport routier est reparti entre les types de véhicules selon des poids basés sur des études de référence comme CE Delft et VU Amsterdam (2014) et CE Delft, INFRAS et Fraunhofer ISI (2011). Finalement, les coûts unitaires seront calculés à partir des véhicule-kilomètre, personne-kilomètre et tonne-kilomètre en Wallonie.

[10] Office fédéral du développement territorial (2020), « Coûts et bénéfices externes des transports en Suisse. Transports par la route et le rail, par avion et par bateau 2017 »

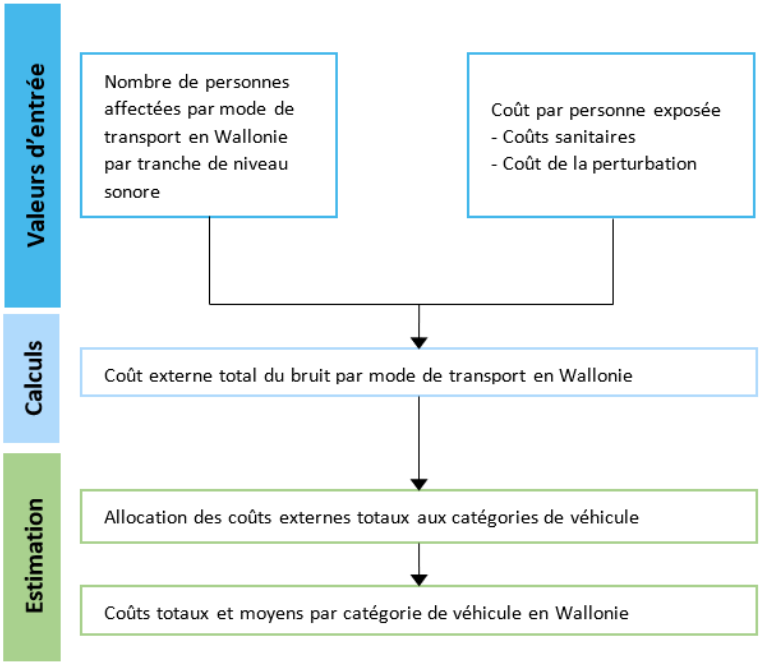


Figure 4 - Méthodologie pour déterminer les coûts du bruit (source : Commission Européenne, 2019)

Ici, il convient de préciser que la quantité de personnes affectées par le bruit des transports en Wallonie est méconnue. Nous ne connaissons que les populations exposées à des niveaux de bruit de plus de 55 dB(A) L_{den} des axes routiers pour lesquelles le trafic est supérieur à 3 millions de véhicules/an et des axes ferroviaires avec plus de 30 000 passages/an, ainsi que les personnes exposées au bruit du trafic routier et ferroviaire dans les communes de Liège et Charleroi. Ces données sont disponibles sur le site de l'état de l'environnement wallon et ont été construites sur bases des cartes de bruit stratégiques correspondantes. C'est-à-dire que nous ne pouvons estimer uniquement les coûts totaux du bruit pour une partie de la Région Wallonne, mais cela restera éloigné des coûts totaux du bruit des transports en Wallonie. Les résultats d'exposition au bruit des transports obtenus par modélisation pour les communes de Liège et Charleroi ne nous permettent pas non plus d'estimer les populations touchées par le bruit dans les autres communes wallonnes.

Une deuxième incertitude dans notre démarche quantitative est d'appréhender l'évolution dans le temps de ces effets. Le bruit émis par les transports varie dans le temps selon différents paramètres. Pour les vitesses faibles, le bruit des moteurs est prépondérant, tandis qu'en hautes vitesses, c'est le bruit de roulement qui s'impose. L'avancement des technologies des moteurs et l'évolution de l'état de la chaussée sont ainsi deux facteurs à prendre en compte. L'évolution des volumes de trafic en lui-même est bien sûr un facteur d'influence également.

Nous ne disposons toutefois pas d'informations permettant d'estimer cette évolution d'un point de vue quantitatif. Il s'agit de paramètres qui influent les uns sur les autres (une variation des flux peut signifier une variation des vitesses pratiquées, par exemple), et qui ont un impact non-linéaire sur les niveaux sonores. Du point de vue démographique, il est également inviable d'évaluer l'évolution de la population exposée à chaque tranche de niveau sonore. Ainsi, nous considérons les dernières cartes de bruit stratégiques sans proposer d'extrapolation incertaine, tout en attirant l'attention au fait que les calculs proposés doivent être mis à jour lors de la prochaine actualisation des cartes de bruit stratégiques, prévues pour 2022, et au fait que nous sous-estimons la quantité de personnes touchées puisque nous retenons uniquement les axes routiers et ferroviaires les plus mouvementés, ainsi que les communes de Liège et Charleroi. Pour la navigation intérieure, la nuisance sonore est considérée négligeable, comme le font les études de référence consultées.

Pour proposer des valeurs unitaires pour le coût du bruit, vu l'absence d'un total pour la Région qui permette d'effectuer le calcul proposé dans la méthodologie, nous nous basons sur des valeurs proposées dans la bibliographie, en comparant aux données disponibles pour la Wallonie.

2.2.3. DONNÉES D'ENTRÉE

Les données d'entrée nécessaires à ce calcul sont les quantités de personnes exposées au bruit par tranches de niveau sonore et les coûts par personne exposée à chaque tranche de niveau sonore. Les nombres de personnes exposées par tranche de niveau sonore sont obtenues du rapport sur l'état de l'environnement wallon[11] [12], produit par le SPW. Les coûts par personne atteinte sont obtenus de la Commission Européenne, qui propose des valeurs par tranche de niveau sonore pour l'UE avec base sur une étude du Defra, du Royaume-Uni (2014).

Le Tableau 1212 indique le nombre de personnes exposées au bruit du trafic routier et le Tableau 1313 le fait pour le ferroviaire, classées par niveau sonore pondéré sur la journée, c'est-à-dire, en majorant les niveaux sonores le soir et la nuit qui induisent une gêne plus importante. Les données de bruit routier sont le cumul des cartes de bruit stratégique de 2017 (axes routiers dont le trafic est compris entre 3 et 6 millions de véhicules/an) et de 2019 (axes routiers dont le trafic est supérieur à 6 millions de véhicules/an). Les chiffres pour le trafic ferroviaire sont fondés sur la carte de bruit stratégique de 2017 pour les axes ferroviaires dont le trafic dépasse 30 000 passages de train/an. De plus, des cartes détaillées pour les communes de Liège et Charleroi ont été approuvées en 2015.

Tableau 12 - Personnes exposées au bruit routier en Wallonie en période de jour, soir et nuit (source : État de l'environnement wallon)

L_{den} (dB(A))	Transport routier sur axes à plus de 3 millions de passages/an (2017, 2019)	Transport routier dans la commune de Liège (2015)	Transport routier dans la commune de Charleroi (2015)
55-59	286 400	35 700	53 800
60-64	144 000	50 900	54 000
65-69	120 500	50 100	36 500
70-74	103 300	21 400	17 500
≥ 75	6 400	3 100	800

[11] http://etat.environnement.wallonie.be/contents/indicatorsheets/SANTE%201.html
[12] http://etat.environnement.wallonie.be/contents/indicatorsheets/SANTE%202.html

Tableau 13 - Personnes exposées au bruit ferroviaire en Wallonie en période de jour, soir et nuit (source : État de l'environnement wallon)

L_{den} (dB(A))	Transport ferroviaire sur axes à plus de 30 mille passages/an (2017)	Transport ferroviaire dans la commune de Liège (2015)	Transport ferroviaire dans la commune de Charleroi (2015)
55-59	44 700	7 000	6 200
60-64	22 100	5 500	3 100
65-69	13 800	3 200	1 800
70-74	7 700	2 400	900
≥ 75	1 400	1 700	800

Le Tableau 1414 indique les coûts par personne affectée par le bruit, proposé pour l'UE par tranche de niveau sonore. Il convient de préciser que l'étude HEATCO (2006) propose une déduction de 5 dB(A) pour le bruit du transport ferroviaire, en considérant qu'il est perçu comme moins désagréable que le bruit routier par les riverains. Cette suggestion n'a pas été retenue ici parce qu'il ne s'agit pas d'une unanimité parmi les études portant sur le sujet, pour éviter une sous-estimation des coûts associés au bruit et pour comparer les différents modes de transport sur une base plus isonome. Les valeurs et prix ont été ajustés pour 2019, en tenant compte de l'évolution du PIB/habitant sur l'UE, puis pour la Wallonie, en tenant compte du ratio des PNB/habitant entre l'UE28 (sur laquelle se base l'étude de la Commission Européenne) et la Région Wallonne.

Tableau 14 - Coût externe du bruit des transports par personne touchée ($€_{2019}$) (source : Commission Européenne, 2019)

L_{den} (dB(A))	Transport routier			Transport ferroviaire		
	Irritation	Maladies	Total	Irritation	Maladies	Total
50-54	16	4	20	16	4	20
55-59	33	4	36	33	5	38
60-64	33	7	40	33	7	40
65-69	64	11	74	64	11	74
70-74	64	15	79	64	15	79
≥ 75	64	21	85	64	21	85

2.2.4. VALEURS UNITAIRES DE COÛTS EXTERNES DU BRUIT PROPOSÉES DANS LA BIBLIOGRAPHIE

Parmi les références bibliographiques consultées, nous retenons 4 qui nous indiquent des valeurs unitaires pour les coûts moyens du bruit : les références 4, 10, 14 et 17 (Tableau1).

Les valeurs de référence pour les coûts moyens du bruit par type de véhicule retrouvées dans la bibliographie sont synthétisées dans le

Tableau 155 pour le transport de voyageurs et le Tableau 166 pour le fret.

Pour ajuster les valeurs des coûts unitaires associés au bruit pour l'année de référence (2019), nous avons multiplié ces différentes valeurs en fonction de l'évolution du PIB pour la période correspondante (date initiale et date de référence).

Tableau 15 - Coûts externes unitaires du bruit retrouvés pour le transport de voyageurs

Zone géographique	UE		Suisse	France		Pays-Bas
N° de référence	4		14	10	17	7
Unité	c€$_{2019}$/ personne.km	c€$_{2019}$/ véhicule.km	c€$_{2019}$/ personne.km	c€$_{2019}$/ véhicule.km	c€$_{2019}$/ personne.km	c€$_{2019}$/ véhicule.km
VL	0,64	0,96	-	-	0,16	0,57
Voiture essence	0,53	0,85	-	-	-	-
Voiture diesel	0,64	0,96	-	-	-	-
Deux roues motorisés	9,56	9,99	-	-	-	-
TC routier	0,21	4,99	1,36	-	-	-
Train	-	-	-	65,18	-	-
TGV	0,32	103,08	-	-	-	-
Train électrique	0,85	112,64	-	-	-	-
Train diesel	1,49	86,07	-	-	-	-

Tableau 16 - Coûts externes unitaires du bruit retrouvés pour le fret

Zone géographique	UE		France			Pays-Bas
N° de référence	4		10	17		7
Unité	c€$_{2019}$/ tonne.km	c€$_{2019}$/ véhicule.km	c€$_{2019}$/ véhicule.km	c€$_{2019}$/ tonne.km	c€$_{2019}$/ véhicule.km	c€$_{2019}$/ tonne.km
VUL	1,70	1,17	-	-	0,83	-
PL	-	-	-	0,15	-	0,90
PL 3,5 - 7,5 t	1,28	4,25	-	-	-	-
PL 7,5 - 16 t	0,85	6,06	-	-	-	-
PL 16 - 32 t	0,43	6,91	-	-	-	-
PL > 32 t	0,43	7,65	-	-	-	-
Train	-	-	261,79	0,26	-	-
Train électrique	0,64	381,49	-	-	-	-
Train diesel	0,43	213,59	-	-	-	-

L'instruction cadre pour l'évaluation des infrastructures de transport adoptée en France entre plus dans le détail, en proposant des valeurs unitaires par type de route et par tranches de densité populationnelle pour les VL et les PL. Ces valeurs sont actualisées (évolution du PIB et des prix de consommation hors tabac) et ajustées pour la Wallonie (ratio des PNB/habitant par rapport à la France), puis indiquées dans le Tableau 177.

Tableau 17 - Coûts externes unitaires du bruit pour la Wallonie (c€$_{2019}$/vkm)

Type de véhicule	Urbain très dense			Urbain dense			Urbain			Urbain diffus			Rural		
	A	R	C	A	R	C	A	R	C	A	R	C	A	R	C
VL	1,6	1,9	4,8	0,9	1,0	4,8	0,6	0,7	3,5	0,2	0,4	1,9	0,1	0,2	1,2
PL	48,3	13,3	6,3	42,5	7,2	3,7	35,3	4,4	2,6	18,9	2,7	0,9	13,0	1,6	0,2

** A = autoroute ; C = communale et R = Autres routes.*

2.3. Pollution de l'air

2.3.1. DESCRIPTION DES COÛTS

La pollution atmosphérique est l'un des types de coûts externes considérés par les principales études sur les coûts des transports. On sait en effet que la pollution de l'air engendrée par le secteur des transports détériore la santé des individus, leur cadre de vie et leur environnement. Dans cette section, c'est la pollution atmosphérique qui provoque des conséquences à un niveau local qui sera considérée, tandis que l'aspect changement climatique (gaz à effet de serre) sera traité séparément dans la section 372.4.

La pollution de l'air provient essentiellement du processus de combustion des moteurs thermiques, mais elle est également issue d'autres sources comme le freinage des véhicules routiers et des trains. Parmi les polluants considérés comme appartenant aux polluants primaires et donc, associés à la pollution atmosphérique hors effet de serre, on compte notamment les émissions de dioxyde de souffre (SO_2), d'oxyde d'azote (NO_x), de monoxyde de carbone (CO), de particules ($PM_{2.5}$ et PM_{10}) et de composés organiques volatils (COV).

Quatre types d'impacts sont considérés :

- l'impact sur la santé humaine ou effet sanitaire ;
- l'impact sur les constructions et les dégradations matérielles ;
- les atteintes à la végétation, et notamment la détérioration de la production agricole ;
- la détérioration de la faune et la flore.

Les effets de la pollution de l'air sur la santé sont en effet une problématique très importante : selon l'Agence Européenne pour l'Environnement (AEE, 2016), 44% de la population européenne est exposée à des niveaux de PM10 au-dessus de la limite WHO AQG, et 77% à des niveaux de PM2,5 excessifs selon le même critère. En Belgique, elle a provoqué 9 380 morts prématurées en 2016. Les effets sur la santé ne sont pas entièrement connus et sont probablement encore sous-estimés, des études récentes montrent notamment que les particules fines toucheraient tous les organes du corps.[13] Une monétarisation des effets en termes d'augmentation des risques de problèmes respiratoires et cardiovasculaires est cependant déjà bien développée et largement adoptée par les guides portant sur

[13] Schraufnagel et al., A Review by the Forum of International Respiratory Societies' Environmental Committee, Part 1: The Damaging Effects of Air Pollution, https://journal.chestnet.org/action/showPdf?pii=S0012-3692%2818%2932723-5

les coûts externes des transports et par de nombreux gouvernements, y compris le gouvernement fédéral belge, ainsi que des pays voisins tels que la France, la Suisse, les Pays-Bas et le Royaume-Uni.

Enfin, il convient de préciser que les coûts externes engendrés par la pollution atmosphérique engendrée par les activités humaines sont considérés approximativement linéaires par rapport aux doses de polluants émis : la relation dose-réponse est approximativement linéaire, d'après le *Handbook* de la Commission Européenne (2019), ce qui permet de considérer que les coûts marginaux sont égaux aux coûts moyens. Cette considération est importante du moment qu'elle permet d'incorporer également des références s'intéressant aux coûts marginaux dans l'analyse.

2.3.2. MÉTHODOLOGIE

Le guide de la Commission Européenne propose la méthodologie illustrée par la Figure 55 pour déterminer les valeurs unitaires des coûts externes liés à la pollution atmosphérique.

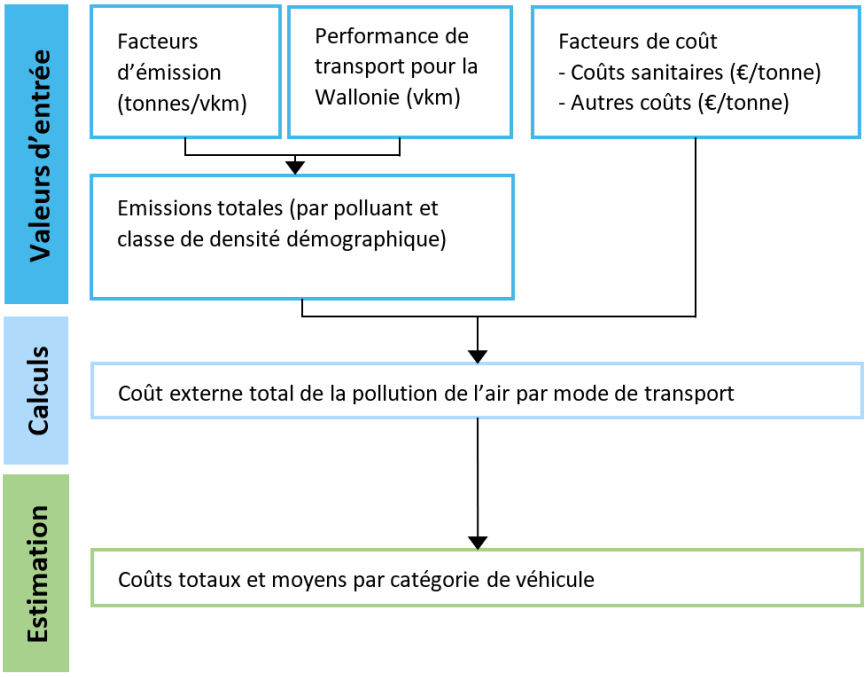


Figure 5 - Méthodologie pour déterminer les coûts de la pollution atmosphérique

2.3.3. DONNÉES D'ENTRÉE

Les données d'entrée comprennent les performances de transport, c'est-à-dire, les chiffres annuels de véhicule-kilomètre, personne-kilomètre et tonne-kilomètre parcourus en Wallonie par type de véhicule ; les facteurs de coût par type de polluant et les émissions par véhicule-kilomètre par type de véhicule.

2.3.3.A. PERFORMANCES DE TRANSPORT

Pour le mode routier, nous obtenons les performances de transport des véhicules privés (2RM, VP, VUL et PL) en véhicules-kilomètre par an parcourus par catégorie de route en Wallonie dans les données reportées par la Région wallonne et publiée par le SPF Mobilité et Transports. Le tableau suivant présente ces données pour l'année 2017.

Tableau 18 : Distances parcourues par type de véhicule routier sur la route (millions de vkm)

Type de routes	2RM	VP	VUL	PL	TC routiers
Autoroutes	101,6	11 297,9	1 673,2	1 836,4	50,9
Routes prov. & reg.	264,9	13 031,2	2 198,4	885,3	85,8
Routes communales	195,1	7 068,7	863,8	124,0	81,4
Total	**561,6**	**31 397,8**	**4 735,4**	**2 845,7**	**218,1**

Les performances de transports (passagers-kilomètres) des TC routiers sont issus des calculs de l'IWEPS[14]. Les chiffres sont synthétisés dans le Tableau 19.

Tableau 19 - Performances de transport des catégories de véhicules routiers en Wallonie (source : STRATEC et SPW-AOT)

Catégorie de véhicule	Performance de transport (millions de vkm/an)	Performance de transport (millions de pkm/an)	Performance de transport (millions de tkm/an)
VP	31 398	40 817	-
2RM	562	562	-
VUL	4 735	-	568
PL	2 846	-	28 457
TC routiers	218	3 771	-

Pour le mode ferroviaire, les statistiques de 2018 publiées par INFRABEL indiquent les performances de transport des trains en trains-kilomètre pour l'ensemble du territoire belge (voit tableau ci-dessous). Nous calculons les volumes de train-km passagers pour la Wallonie en faisant appel à des données plus anciennes issues du Bilan énergétique de la Wallonie 2018. Ainsi, en 2011, 38% des trains-km voyageurs de la SNCB étaient parcourus en Wallonie. Pour les trains de fret, nous partons de l'estimation des tonnes-km parcourues sur le réseau wallon en 2016 issue de la SRM pour les marchandises. Nous connaissons également le chargement moyen par train pour les années 2013-2014 (584 tonnes par train en moyenne) qui nous sert ensuite à estimer les trains-km en combinant ces deux informations.

[14] https://www.iweps.be/indicateur-statistique/transport-routier/

Tableau 20 – Distance parcourue par les trains en Belgique en 2018 (millions de trains-km)

Segment de marché	Belgique (INFRABEL)	Wallonie
Passagers	87.2	33.4
Fret	13.2	3.7
Total	100.4	37.2

Pour la navigation intérieure, la Direction générale opérationnelle de la Mobilité et des Voies hydrauliques (DGO 2) publie les statistiques de flux par mois et par an, comme l'illustre la Figure 6. Nous constatons une tendance plutôt stable sur la décennie, avec une chute en 2020, de façon cohérente avec la chute du PIB liée aux effets économiques de la pandémie de covid19. Compte tenu du scénario atypique de l'année 2020, nous considérons pour les calculs la valeur de 2019, de 1 685 millions de tkm, plus représentative.

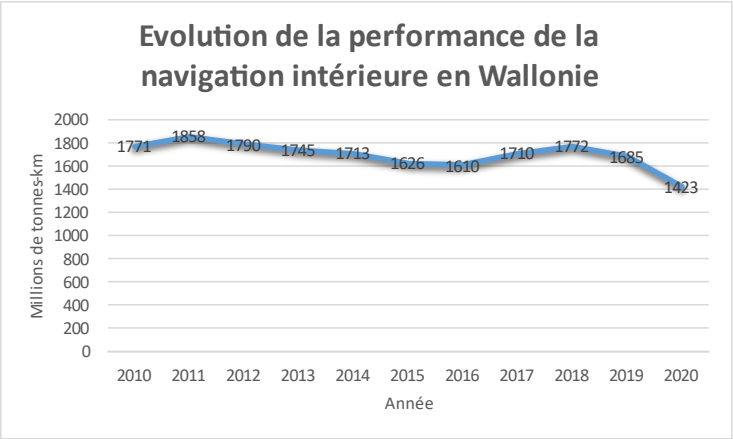


Figure 6 - Évolution de la navigation intérieure en Wallonie (source : DGO 2)

Les statistiques annuelles de la DGO2 indiquent une charge moyenne de 576 tonnes. Ce taux de remplissage moyen tient compte implicitement des retours à vide. Ainsi, nous arrivons à une estimation de 2 925 357 bateaux-km.

2.3.3.B. FACTEURS D'ÉMISSION DES VÉHICULES

2.3.3.b.1. Transport routier

Les coûts externes dus à la pollution de l'air que nous sommes en mesure de prendre en compte dans le calcul sont les émissions des véhicules lors de la combustion de carburant et les particules émises par le frottement des pneus avec la chaussée. Les émissions par kilomètre parcourus ne sont toutefois pas les mêmes pour tous les véhicules. Elles dépendent en effet de plusieurs facteurs, tels que le type de véhicule, l'âge et le carburant consommé.

L'âge moyen du parc de véhicules routiers enregistré en Wallonie est de 10 ans en 2020, d'après la Febiac. Il ne s'agit pas exactement du même ensemble de véhicules qui circule effectivement sur le territoire wallon puisque des véhicules étrangers ou d'autres régions contribuent également au trafic sur le réseau wallon et dans la mesure où il est possible que certaines catégories de véhicules circulent davantage que d'autres.

Comme l'âge moyen du parc wallon est proche de celui du parc français (10,0 ans contre 10,6 ans), nous choisissons de reprendre directement les coûts unitaires par catégorie de véhicule, type de carburant et classe de densité démographique proposés en France par l'instruction cadre relative à

l'évaluation des infrastructures de transport, dû au manque de données détaillées par rapport aux performances de transport en Wallonie par type de véhicule léger, qui permettraient de réaliser un calcul des émissions par moyen du modèle de calcul COPERT V, une référence très importante du domaine.

Pour la circulation des PL, Stratec a développé un modèle de trafic recalé sur les trafics PL de la Wallonie, ce qui est fondamental, vu que le transit y est très important : les PL qui y circulent sont souvent enregistrés hors de Wallonie. Le modèle nous indique les classes d'émissions Euro et les catégories de poids des PL circulant sur les routes wallonnes. Nous considérons pour l'étude que les émissions d'un véhicule correspondent aux limites définies pour la norme Euro correspondante.

Pour les particules, la norme Euro 0 n'établit pas de limite. Puisqu'il n'a pas été possible d'obtenir une moyenne pour ce type d'émission et cette classe, nous considérons le même que pour la norme Euro I, ce qui correspond sans doute à une sous-estimation. Comme ces véhicules correspondent à moins d'1% des PL circulant en Wallonie, cela ne devrait toutefois pas avoir de conséquences significatives dans le calcul.

Encore sur les particules, les normes d'émission portent naturellement sur les émissions au pot d'échappement. Pour tenir compte également des particules issues de l'usure des freins, des pneus et de la chaussée, nous considérons que les émissions d'échappement correspondent à 30% des émissions totales de particules, sur base du rapport du rapport du DEFRA (Royaume-Uni, 2019)[15].

Les facteurs d'émission par classe d'émissions Euro sont indiqués dans le Tableau 21, pour les moteurs à diesel.

Tableau 21 - Facteurs d'émissions considérés par classe d'émission Euro pour les PL à diesel (g/l)

Norme	NO_x	CO	HC	Particules
Euro 0	147,76	114,93	24,63	12,30
Euro I	92,35	50,28	12,62	12,30
Euro II	71,83	41,05	11,29	5,13
Euro III	51,31	21,55	6,77	4,43
Euro IV	35,91	15,39	4,72	0,70
Euro V	20,52	15,39	4,72	0,70
Euro VI	4,10	15,39	1,33	0,33

Pour convertir ces facteurs en g/vkm, il faut définir la consommation de carburant. Les consommations varient sensiblement selon le modèle de véhicule et le type de trajet. Ainsi, nous faisons une estimation sur base des consommations indiquées par le rapport du projet Equilibre (2018) pour un scénario de consommation par typologie de voirie et par tranche de masse maximale autorisée (MMA), présenté dans le Tableau 222.

Tableau 22 - Scénario de consommation de diesel par des PL par catégorie de poids (l/100km)

MMA	Autoroute	Nationale	Urbain	Urbain dense
3,5t – 12 t	12	16	20	25
12 t – 32 t	22	27	32	42
> 32 t	28	35	37	45

Enfin, pour calculer les facteurs d'émission moyens pour un PL, nous considérons une répartition des flux entre les différentes classes d'émission au sein des classes de MMA. Cette répartition a été calculée

[15] 1907101151_20190709_Non_Exhaust_Emissions_typeset_Final.pdf (defra.gov.uk)

par STRATEC sur base des données DTS de l'année 2019. Ces données correspondent à la facturation des kilomètres parcourus sur le réseau payant de la Sofico.

Tableau 23 - Répartition des vkm parcourus par les PL en Wallonie par classe d'émission Euro au sein de chaque classe de MMA (source : calculs de STRATEC sur base de DTS, 2019)

Réseau payant	3,5-12 T	12 - 32 T	> 32 T
EURO 0	1,76%	1,23%	0,48%
EURO I	0,38%	0,38%	0,06%
EURO II	2,10%	2,14%	0,26%
EURO III	8,90%	8,24%	1,60%
EURO IV	11,43%	9,68%	1,93%
EURO V	32,06%	29,98%	20,93%
EURO VI	43,38%	48,35%	74,74%
Total	100,00%	100,00%	100,00%

Le modèle de transport développé par STRATEC dans le cadre de l'étude du PKPL, la répartition des flux par classe MMA indique que la classe entre 3,5 et 12 t correspond à 5% des vkm parcourus en Wallonie par les PL, la classe entre 12 et 32 t correspond à 10%, puis celle au-delà de 32 t correspond à 85%.

2.3.3.b.2. Transport ferroviaire

Pour le transport ferroviaire, nous n'avons pu obtenir de façon directe les performances de transport par source d'énergie motrice. Toutefois, il a été possible de la calculer à partir de la répartition de la consommation d'énergie par les trains électriques et au diesel.

Le détail de la consommation énergétique en Belgique pour l'an 2018, publié par le portail Eurostat, indique que les trains à diesel ont consommé 21,77 ktoe (kilotonnes équivalentes de pétrole) (13,6% du total pour le rail), tandis que les trains électriques ont consommé 137,8 ktoe (86,4% du total pour le rail), tous segments de marché confondus. Cela est proche des parts retrouvées sur un rapport de la SNCB[16] pour les années 2014 et 2015.

Le calcul de consommation unitaire d'énergie est fait à l'aide des données précédentes, ainsi que des données de performance de transport des trains en Belgique pour 2018 : Les trains de voyageurs ont parcouru 87,2 millions de vkm et ont transporté 10,5 milliards de pkm ; ceux de marchandises ont parcouru 13,2 millions de vkm et ont transporté 15 milliards de tkm. Cela permet de calculer les consommations :

$$C_{totale} = C_{diesel} + C_{électrique} = 21{,}77\ ktoe + 137{,}8\ ktoe = 159{,}6\ ktoe$$

$$C_{vkm} = \frac{159{,}6\ ktoe}{100{,}4\ millions\ de\ train.km} = 1{,}589 \times 10^{-6} ktoe/vkm = 0{,}06653\ GJ/vkm$$

En connaissant la consommation d'énergie par train-km en Belgique, il faut ensuite déterminer les émissions de polluants par train-km. Pour cela, nous utilisons le modèle allemand TREMOD, qui indique des valeurs d'émissions de polluants par kg de diesel pour les différents types de segment de marché, et dont les valeurs figurent dans le24. Il porte sur le parc ferroviaire allemand, mais, faute de sources d'information équivalentes pour la Belgique, ces valeurs seront reprises.

[16] http://www.belgianrail.be/fr/corporate/Durabilite/Planet/~/media/E73B8CD2BFCB4CC0BCD6F4506FA49B52.ashx

Tableau 24 - Facteurs d'émission des trains à diesel en Allemagne en 2018 (g/kg) (source : TREMOD)

Polluant	CO	HC	NOx	PM
Manœuvre	3,9	1,8	33,1	0,5
Fret	5,3	5,3	33,6	0,6
Voyageurs (longue distance)	5,2	5,2	40,1	0,3
Voyageurs (courte distance)	3,5	3,5	31,2	0,5

Pour les convertir en g/vkm, nous utilisons l'artifice suivant : le facteur d'émission en g/train.km est le produit du facteur en g/kg par la masse volumétrique du diesel (839,5 kg/m³), divisé par la conversion énergétique du diesel (38,66 GJ/m³) multipliée par la consommation par train-km pour la Belgique (0,06653GJ/vkm). Les facteurs d'émission calculés ainsi sont présentés dans le Tableau 25.

Tableau 25 – Estimation des facteurs d'émission du transport ferroviaire à diesel en Belgique (g/train.km)

Polluant	CO	HC	NOx	PM
Manœuvre	5,63	2,60	47,82	0,72
Fret	7,66	7,66	48,54	0,87
Voyageurs (longue distance)	7,51	7,51	57,93	0,43
Voyageurs (courte distance)	5,06	5,06	45,07	0,72

2.3.3.b.3. Navigation intérieure

Pour la navigation intérieure, les données reprises d'Eurostat et du SPF Mobilité et Transports indiquent les quantités totales d'émission pour la navigation en Belgique, ainsi que les totaux de bateaux-km et de tonne-km pour la Belgique, cela permet de calculer les émissions moyennes par bateau-km et par tonne-km pour le pays, sans avoir le détail pour la Région Wallonne.

Total de bateaux-km en Belgique en 2018 : 14 551 000 (reporté par Eurostat)

Total de tonnes-km en Belgique en 2018 : 11 357 000 000 (SPF Mobilité et Transports)

Tableau 26 - Facteurs d'émission de la navigation intérieure en Belgique en 2018 (source : Eurostat et SPF Mobilité et Transports)

Polluant	NO_x	SO_x	NH_3	$PM_{2,5}$	PM_{10}	NMVOC
Navigation nationale (t)	3 808	36	1	97	104	131
Navigation intérieure internationale (t)	2 071	87	0	57	60	81
Total des émissions (t)	5 879	123	1	154	164	212
Performance en Belgique (millions de vkm)	14,551					
Performance en Belgique (milliards de tkm)	11,357					
Facteurs d'émission (g/vkm)	404,0	8,45	0,069	10,6	11,3	14,6
Facteurs d'émission (g/1000 tkm)	517,7	10,8	0,088	13,6	14,4	18,7

Une deuxième référence pour obtenir des facteurs d'émission est le modèle TREMOD, qui les indique pour le cas de la navigation intérieure en Allemagne. Ce modèle est une des rares références à aborder les facteurs d'émission pour la navigation intérieure, ayant servi de base pour les calculs de coûts externes de transport de la Commission Européenne[5]. Nous retenons cette approche, qui permet d'utiliser les données disponibles pour la Wallonie.

Tableau 27 - Facteurs d'émission pour la navigation intérieure en Allemagne en 2018 (g/kg) (source : TREMOD)

Polluant	Facteur d'émission	Polluant	Facteur d'émission
CO	10,0	**NH3**	0,010
HC	2,6	**BC**	0,638
NOx	48,7	**SO2**	0,032
PM	1,2	**Benzène**	0,050
CH4	0,063	**Toluène**	0,021
N2O	0,043	**Xylène**	0,021

Pour les convertir en g/vkm, nous utilisons l'artifice suivant : le facteur d'émission en g/vkm est le produit du facteur en g/kg par la masse volumétrique du diesel (839,5 kg/m³), divisé par la conversion énergétique du diesel (38,66 GJ/m³) multipliée par la consommation par bateau-km pour la navigation intérieure en Belgique (5 903 388 GJ/14 551 000 vkm). Les facteurs d'émission calculés ainsi sont présentés dans le Tableau 2828, qui vient compléter les facteurs déjà proposé dans le Tableau 26.

Tableau 28 - Facteurs d'émission pour la navigation intérieure en Belgique (g/bateau-km)

Polluant	Facteur d'émission	Polluant	Facteur d'émission
CO	88,1	**NH3**	0,09
HC	23	**BC**	5,62
NOx	429	**SO2**	0,28
PM	11	**Benzène**	0,4
CH4	0,56	**Toluène**	0,19
N2O	0,38	**Xylène**	0,19

2.3.3.C. FACTEURS DE COÛT PAR TYPE DE POLLUANT

Il existe plusieurs études qui ont estimé des coûts pour la pollution atmosphérique. Parmi les études prises en référence, celle de CE Delft (Pays-Bas, 2017) est la plus complète. Nous en retirons les facteurs de coût qu'ils ont calculé pour les principaux polluants émis par les transports. Après actualisation des valeurs et prix pour l'an 2019, nous appliquons également un facteur de correction pour passer des coûts pour les Pays-Bas en coûts pour la Wallonie (ratio des revenus moyens par habitant).

Tableau 29 - Facteurs de coût par type de polluant pour la Wallonie (c€$_{2019}$/kg) (source : calculs propres à partir de CE Delft, 2017)

Polluant	Facteur de coût
CO	7,96
NO_x	2884,44
NMVOC	174,56
$PM_{2.5}$	6608,44
PM_{10}	3707,38
SO_2	2069,81
NH_3	253,53
Benzène	88,11
Toluène	2618,44

2.3.4. VALEURS UNITAIRES DE COÛTS EXTERNES DE LA POLLUTION DE L'AIR PROPOSÉES DANS LA BIBLIOGRAPHIE

Parmi les références bibliographiques consultées, nous retenons 4 qui nous indiquent des valeurs unitaires pour les coûts moyens de la pollution de l'air : les références 4, 14, 16 et 17 (Tableau 1).

Les valeurs de référence pour les coûts moyens de la pollution de l'air par type de véhicule retrouvées dans la bibliographie sont synthétisées dans le Tableau 30 pour le transport de voyageurs et le Tableau 31 pour le fret. Il convient de signaler que la référence utilisée par cette source pour les émissions du ferroviaire est l'étude allemande TREMOD, qui n'attribue aucun coût aux émissions directes par les

trains électriques et les trains à grande vitesse. Celles-ci seront néanmoins présentées, mais négligées dans l'analyse, vu que la consommation d'électricité n'émet pas de polluants atmosphériques directement.

L'actualisation des valeurs unitaires de coûts externes de la pollution de l'air pour le transport de voyageurs fait intervenir le PIB et les facteurs d'émission du parc de véhicules. Cependant, l'absence de données suffisantes sur les facteurs d'émissions pour de l'année 2019, nous amène à ajuster ces valeurs unitaires en considérant dans nos calculs uniquement l'évolution PIB.

Tableau 30 - Valeurs unitaires de coûts externes de la pollution de l'air pour le transport de voyageurs

Zone géographique	UE		Suisse	France	Belgique
N° de référence	4		14	17	16
Unité	c€$_{2019}$/ personne.km	c€$_{2019}$/ véhicule.km	c€$_{2019}$/ personne.km	c€$_{2019}$/ personne.km	c€$_{2019}$/ personne.km
VL	0,72	1,16	-	0,68	1,18
Voiture essence	0,34	0,54	-	-	-
Voiture diesel	1,20	1,94	-	-	-
Deux roues motorisés	1,14	1,19	-	-	1,27
TC routier	0,74	14,63	1,85	-	0,28
Train	-	-	-	-	0,09
TàGV	0,00	0,67	-	-	-
Train électrique	0,03	1,16	-	-	-
Train diesel	0,53	47,96	-	-	-

** En heure de pointe*

Tableau 31 - Valeurs unitaires de coûts externes de la pollution de l'air pour le fret

Zone géographique	UE		France	
N° de référence	4		17	
Unité	c€$_{2019}$/ tonne.km	c€$_{2019}$/ véhicule.km	c€$_{2019}$/ tonne.km	c€$_{2019}$/ véhicule.km
VUL	4,78	3,31	-	1,34
VUL essence	1,76	1,19	-	-
VUL diesel	4,96	3,44	-	-
PL	0,78	9,57	0,92	-
Train électrique	0,00	2,18	-	-
Train diesel	0,71	311,64	-	-
Train	-	-	0,25	-
Navigation intérieure	1,32	1907,24	0,65 (Freycinet) et 0,41 (autres)	-

Pour le trafic routier, nous reprenons encore les valeurs unitaires proposées par la référence 10, concernant la France, détaillée par catégorie de véhicule, type de carburant et classe de densité démographique du milieu. Les définitions de classes de densités démographiques sont récapitulées

dans le Tableau 32. Les coûts unitaires sont présentés dans le 33Tableau 33 et seront repris pour la Wallonie, compte tenu de la ressemblance entre les âges moyens des deux parcs de véhicules routiers. Nous actualisons ces valeurs selon l'évolution du PIB français sur la période 2015-2019 et les prix sur la même période selon l'indice global des prix hors-tabac, en tenant compte des recommandations de cette même instruction française.

Tableau 32 - Classes de densité démographique (source : Ministère de la Transition Écologique (France)[17])

Densités (hab/km²)	Urbain très dense	Urbain dense	Urbain	Urbain diffus	Interurbain (rural)
Fourchette	> 4 500	1 500-4 500	450-1 500	37-450	< 37
Densité moyenne	6 750	2 250	750	250	25

Tableau 33 - Facteurs de coût (€$_{2019}$/vkm) par classe de densité démographique et catégorie de véhicule

Catégorie de véhicule	Urbain très dense	Urbain dense	Urbain	Urbain diffus	Interurbain (rural)
Voiture essence	4,7	1,4	0,6	0,4	0,3
Voiture diesel	15,2	4,2	1,7	1,4	1,1
Voiture GPL	4,0	1,1	0,6	0,4	0,1
Deux roues motorisés	7,2	2,0	0,9	0,6	0,5
TC routier	89,5	18,1	8,9	4,8	3,3
Train diesel	1010,2	336,6	112,2	37,3	3,7

[17] https://www.ecologie.gouv.fr/sites/default/files/V.2.pdf

2.4. Changement Climatique

2.4.1. DESCRIPTION DES COÛTS

Le changement climatique est un autre coût très important à prendre en compte lors des évaluations de coûts externes des transports. Limiter les émissions de GES est un des principaux défis de l'humanité pour la décennie en cours comme pour les suivantes, et le secteur des transports est un des plus grands émetteurs. Plusieurs gaz différents, plus ou moins impactants sont concernés, et c'est pourquoi il est important d'adopter une mesure commune d'impact potentiel de réchauffement global (PRG). Il s'agit de convertir ces quantités en une quantité de CO_2 pour laquelle le PRG serait équivalent[18]. On parle donc de kilogrammes de CO_2 équivalent ($kgCO_2e$), tonne de CO_2 équivalent (tCO_2e), ...

Le changement climatique entraîne de nombreuses conséquences négatives sur l'environnement et les activités humaines. C'est pourquoi il est possible et important d'estimer un coût de la tonne de CO_2 équivalent (t CO_2e).

2.4.2. MÉTHODOLOGIE

Nous nous basons sur l'approche proposée par la Commission Européenne, dite « bottom-up », illustrée par la 7.

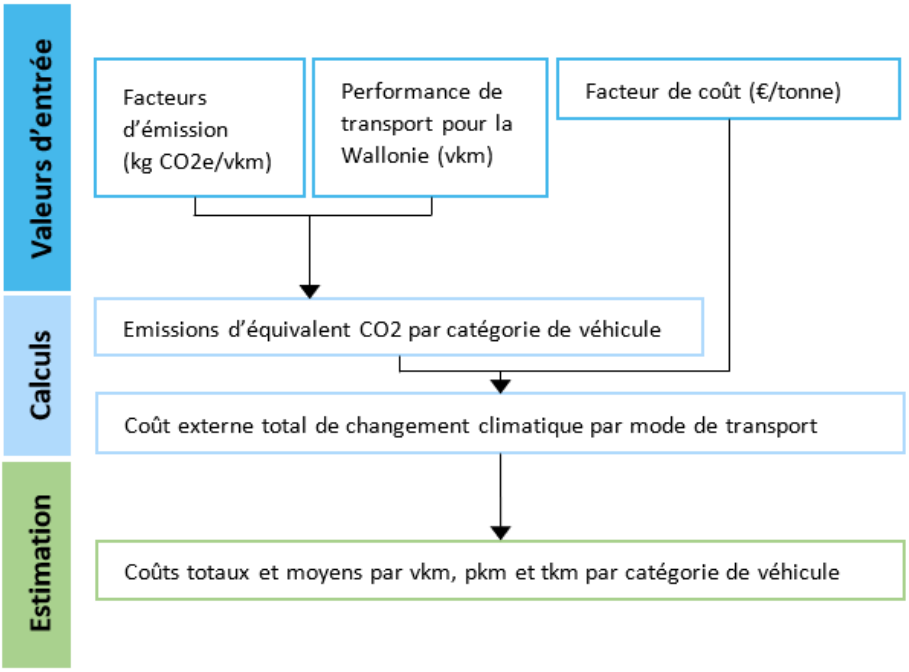


Figure 7 - Méthodologie pour déterminer les coûts du changement climatique (source : Commission Européenne, 2019)

Les études de référence sur le sujet soulignent le fait que le facteur de coût (valeur attribuée à la t CO_2e) est délicat à estimer. Des valeurs très variées sont proposées. Une approche est de lui attribuer le coût d'évitement, c'est-à-dire, combien coûterait de supprimer une activité émettrice. Il est important de souligner la démarche proposée par les études de référence, qui proposent des plages de valeur de la t CO_2e, augmentant au long du temps, puisque les conséquences des émissions deviendront progressivement plus importantes avec l'intensification du changement climatique : les plus ambitieuses sont nos actions pour combattre le changement climatique aujourd'hui, le moins serions nous pénalisés dans quelques décennies, quand l'évitement des émissions reviendra beaucoup plus cher. C'est

[18] https://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/index.php?title=Glossary:Carbon_dioxide_equivalent

pourquoi nous recueillons les valeurs de tCO_2e proposées par ces différentes études et choisissons une valeur de référence qui permette de donner un poids suffisant à cette externalité.

Nous reprenons ensuite les performances de transport en Wallonie, déjà établies dans les calculs d'autres types de coûts, ainsi que les facteurs d'émission des différents modes et catégories de véhicule. En multipliant les facteurs d'émission de chaque catégorie par sa performance de transport, nous obtenons les émissions totales par catégorie de véhicule. Le coût externe total de changement climatique par mode de transport est ensuite déterminé par le produit de ces émissions par le facteur de coût retenu. Enfin, nous estimons les coûts totaux et moyens par catégorie de véhicule.

2.4.3. DONNÉES D'ENTRÉE

2.4.3.A. FACTEURS D'ÉMISSION

L'émission de GES d'un véhicule au kilomètre dépend du carburant utilisé et de la consommation (cette dernière, à son tour, dépend du comportement du conducteur, de la congestion, de la voie, du poids du véhicule, entre autres). Pour le transport routier, notamment, les règlementations environnementales relatives aux véhicules poussent les fabricants à optimiser la consommation énergétique, ce qui fait que la consommation moyenne a décru avec le temps, et les véhicules plus neufs émettent moins de GES que les plus anciens. C'est pourquoi la caractérisation du parc de véhicules par rapport à l'âge est une information importante pour ce calcul. En revanche, l'augmentation de la demande en transports sur les dernières décennies fait que la consommation d'énergie par les transports a augmenté de façon significative. L'état de l'environnement wallon indique une croissance de 25,2% de la consommation d'énergie par le secteur des transports entre 1990 et 2009, et que les émissions de GES ont évolué de façon à peu près équivalente.

Les émissions du parc automobile wallon sont obtenues auprès de l'AwAC, à l'exception des TC routiers. Pour les TC routiers, nous reprenons les données fournies par l'opérateur du réseau TEC, présentées dans le Tableau 35.

Tableau 4 - Offre annuelle de TC routier par l'opérateur du TEC en Wallonie (source : OTW)

Type d'offre TEC	Mveh-km offerts	Part km vide	Mveh-km réels	Consommation totale	Consommation par km offert (l/100km)	l/km offert	Émissions GES directes pour 100km
Express	**4,09**	**0%**	**4,09**	**1 700 898**	**41,58**	**0,41**	**0,10**
Urbain	**27,94**	**11%**	**31,02**	**13 041 945**	**42,04**	**0,42**	**0,10**
Autres	**55,75**	**21%**	**67,50**	**37 226 455**	**55,14**	**0,55**	**0,13**

Pour le ferroviaire et la navigation intérieure, des données permettant de déterminer les facteurs d'émission n'ont pas été trouvées. Ainsi, nous reprenons les coûts unitaires par train(ou bateau)km proposés par la Commission Européenne[5].

La synthèse de ces facteurs d'émission est présentée dans le tableau ci-dessous.

Tableau 5 - Facteurs d'émission de GES par type de véhicule (kgCO2e/vkm) (source pour mode routier : AwAC)

Catégorie de véhicule	Facteurs d'émission	Catégorie de véhicule	Facteurs d'émission
VP essence	0,152	**PL**	0,745
VP diesel	0,158	**TC routiers**	détaillé

2RM	0,095	**Train diesel passagers**	nc
VUL essence	0,200	**Train diesel fret**	nc
VUL diesel	0,240	**Navigation intérieure**	-

2.4.3.B. PERFORMANCE DE TRANSPORT POUR LA WALLONIE

Nous utiliserons encore une fois les performances de transport pour la Région qui ont été calculées en 2.3.3.a.

2.4.3.C. FACTEUR DE COÛT

Les valeurs proposées par chaque référence et pour chaque année pour une t CO_2e varient fortement, ce qui a un impact décisif sur le coût externe du changement climatique calculé. Il faut ainsi faire un choix parmi les valeurs proposées, en évitant de faire un choix insuffisamment ambitieux et de sous-estimer les coûts d'évitement des émissions, ce qui pourrait limiter le succès des mesures de combat au changement climatique. De plus, il est important de tenir compte de l'évolution prévue pour ce coût dans l'évaluation de projets d'infrastructure de transports. Les valeurs centrales trouvées pour la période 2010-2060 sont reprises dans la Figure 88.

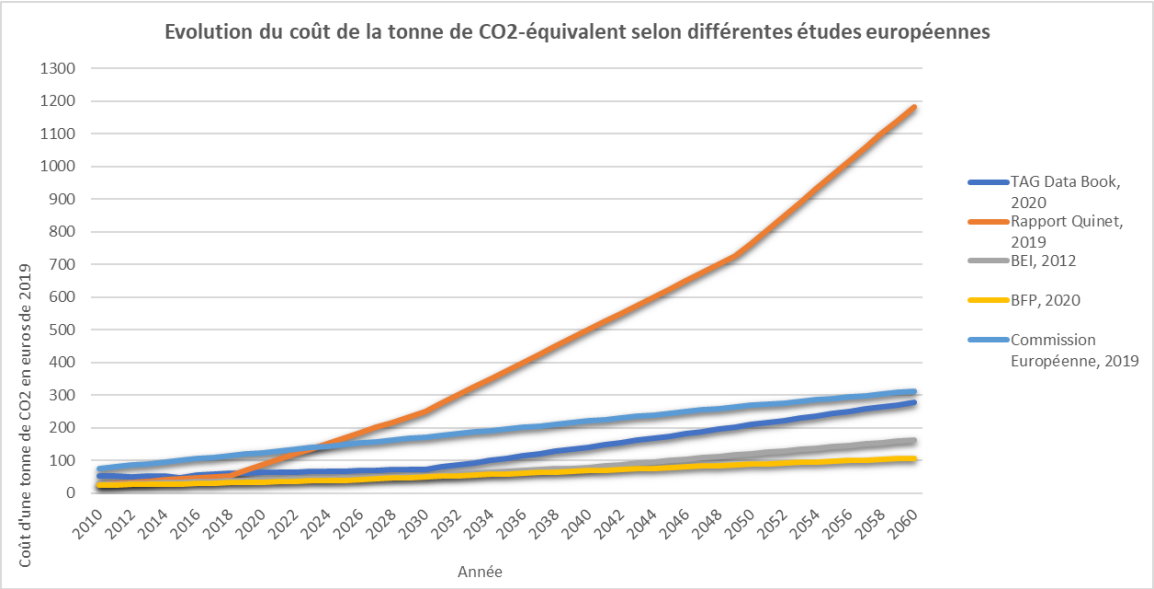


Figure 8 - Évolution du coût de la tonne de CO2-équivalent selon des études de référence

Le rapport d'Alain Quinet, de 2019, propose une valeur évoluant très fortement pour les décennies à venir, une tendance qui ne trouve pas d'écho dans les autres études prises comme références. L'étude de la Commission Européenne, en revanche, indique des coûts d'évitement des émissions de GES plus importants que plusieurs études de référence, mais qui restent cohérentes aux valeurs proposées par d'autres études, comme celle d'INFRAS (2018) pour les coûts externes des transports en Suisse, celle de TML pour les coûts externes des transports en Flandre, qui se base à son tour sur Ricardo-AEA (2014). Ces valeurs sont donc soutenues par d'autres études scientifiques, tout en permettant une action plus ambitieuse d'évitement du CO2 par rapport à l'étude du Bureau du Plan Fédéral ou celle de la Banque Européenne d'Investissements. Nous retenons finalement cette courbe d'évolution, qui quantifie à 119 € la tonne de CO2 en 2019.

2.4.4. VALEURS UNITAIRES DE COÛTS EXTERNES DU CHANGEMENT CLIMATIQUE PROPOSÉES DANS LA BIBLIOGRAPHIE

Parmi les références bibliographiques consultées, nous retenons 3 qui nous indiquent des valeurs unitaires pour les coûts moyens du changement climatique : les références 4, 14 et 17 (Tableau 1).

Les valeurs de référence pour les coûts moyens du changement climatique par type de véhicule retrouvées dans la bibliographie sont synthétisées dans le Tableau 34, pour le transport de voyageurs, et le Tableau 35, pour le fret.

Pour permettre une comparaison entre coûts unitaires, nous les actualisons en prix et en valeur pour l'année de 2019. L'évolution des prix est effectuée par l'indice des prix de consommation hors-tabac et l'évolution des valeurs est faite en tenant compte l'évolution de la valeur de la tonne de CO_2 comme indiqué en 2.4.3.

Tableau 34 -Valeurs unitaires de coûts externes du changement climatique pour le transport de voyageurs

Zone géographique	UE		Suisse	France
N° de référence	4		14	17
Unité	c€$_{2019}$/ personne.km	c€$_{2019}$/ véhicule.km	c€$_{2019}$/ personne.km	c€$_{2019}$/ personne.km
VL	-	-	-	0,47
Voiture	1,41	2,26	-	-
Voiture essence	1,45	2,35	-	-
Voiture diesel	1,33	2,14	-	-
Deux roues motorisés	1,06	1,12	-	-
TC routier	0,52	10,31	0,89	-
Train diesel	0,40	23,94	-	-

Tableau 35 - Valeurs unitaires de coûts externes du changement climatique pour le fret

Zone géographique	UE		France	
N° de référence	4		17	
Unité	c€2019/ tonne.km	c€2019/ véhicule.km	c€2019/ tonne.km	c€2019/ véhicule.km
VUL	4,74	3,28		1,01
VUL essence	4,48	3,05		
VUL diesel	4,75	3,30		
PL	0,63	7,72	0,38	
Train diesel	0,30	133,87		
Train			0,02	
Navigation intérieure	0,32	456,27	0,16 (Freycinet) et 0,10 (autres)	

2.5. Effet de coupure

2.5.1. DESCRIPTION DES COÛTS

Les infrastructures de transport consomment de l'espace, que ce soit en milieu urbain ou rural. Leurs caractéristiques géométriques et les flux qui y circulent peuvent fragmenter le territoire, en rendant pénible, risqué ou même impossible de franchir cette infrastructure. Selon l'emplacement de l'infrastructure, cela peut avoir des conséquences écologiques ainsi que sur l'activité humaine.

Pour les infrastructures en milieu naturel, leurs emprises morcellent les habitats et coupent les connexions entre réservoirs de biodiversité. Or, cette connexion est essentielle à la circulation des espèces animales pour réaliser des activités fondamentales telles que se nourrir et se reproduire. En Wallonie, cette question est très importante, du fait du très haut niveau de fragmentation des écosystèmes et d'espèces menacées d'extinction, comme le montre le rapport sur l'état de l'environnement wallon de 2017.

Pour les infrastructures en milieu urbain, les conséquences se font ressentir sur l'intégration territoriale, avec des quartiers qui peuvent être isolés et difficile d'accès. La population de ces quartiers pâtit d'un manque d'accès aux différents espaces de la ville et de temps de déplacements augmentés.

Pour les coûts d'effet de coupure en milieu urbain, le CIEM (2010) indique une classification pour les types d'effets :

- primaires (délais de traversée augmentés, parcours allongés, risques accrus, etc.) ;

- secondaires (diminution des relations de voisinage, ségrégation sociale) ;

- tertiaires (modifications du fonctionnement des territoires, perte de lisibilité des structures).

Cela entraîne des conséquences sur le bien-être et la qualité de vie de la population de ces territoires, en plus de fragiliser le tissu urbain et l'économie locale.

2.5.2. MÉTHODOLOGIE

La lecture des études de référence permet de constater que le sujet reste peu étudié. Le Tableau 36 indique quelles références apportent des éléments pour quantifier ce type de coût.

Sur ces 18 références, 11 ne traitent pas des effets de coupure provoqués par les transports. 2 les traitent sans proposer de valeurs monétaires, tandis que 5 indiquent des valeurs monétaires associées à l'effet de coupure des transports.

Tableau 36 - Effets de coupure des infrastructures de transport dans la bibliographie

Référence	N'aborde pas les effets de coupure dans les transports	Aborde les effets de coupure d'un point de vue qualitatif	Propose des valeurs quantitatives aux effets de coupure
TREMOD, 2020	■		
Commission Européenne, 2019			■
Commission Européenne, 2014	■		
EIB, 2013	■		
CE Delft, 2017	■		
Department for Transport, 2020	■		
Ministère de la Transition Écologique, 2020		■	
Rapport Quinet, 2013	■		
Rapport Quinet, 2019	■		
Ministère de la Transition Écologique, 2014		■	
INFRAS & Ecoplan, 2018			■
Bureau Fédéral du Plan, 2020	■		
Crozet, 2017	■		
Document de travail des services de la Commission, 2008	■		
Baum *et al.*, 2008			■
CIEM, 2010			■
TM Leuven, 2016	■		
INFRAS & CE Delft, 2008			■

Le Ministère de la Transition Écologique, en France, propose une méthode de calcul, plutôt que des valeurs, ce qui peut être attribuée à la forte variabilité de l'impact selon l'emplacement de l'infrastructure.

Le rapport d'INFRAS & Ecoplan présente les coûts externes totaux de la fragmentation et de la perte d'habitats pour la Suisse en 2017 (donc un regard sur l'aspect écologique des coupures) pour les différents modes de transport et en faisant la distinction par segment de marché (personnes ou marchandises). Il n'indique pas de valeurs unitaires. Cependant, l'étude menant à ce rapport indique la

longueur de réseau. Ainsi, il est possible de calculer des valeurs unitaires pour les coûts de la perte et la fragmentation d'habitats pour la Suisse.

Le guide de la Commission Européenne de 2019 se base sur cette étude pour proposer des valeurs par km de réseau par pays, ainsi que des valeurs unitaires moyennes pour l'Union Européenne par type de véhicule.

Baum *et al. (année)*, dans leur critique du guide sur les coûts externes de la Commission Européenne de 2008, défendent que les effets négatifs sur la nature et le paysage ne doivent être traités comme des coûts externes puisqu'ils ne représentent pas une perte économique.

Le CIEM, en calculant les coûts externes unitaires et totaux des transports pour la Wallonie, ont pris comme référence les valeurs unitaires proposées par l'étude INFRAS/IWW de 2004 pour calculer les coûts de la consommation d'espace. L'effet de coupure est bien une composante de ce coût, mais comme les valeurs ne sont détaillées, il n'est pas possible d'obtenir les coûts associés particulièrement à l'effet de coupure.

Enfin, l'étude INFRAS & CE Delft de 2008, qui est la mise-à-jour de l'étude INFRAS/IWW de 2004, propose des valeurs unitaires de l'effet de coupure. Ils proposent des coûts d'effet de coupure en milieu urbain dû au temps perdu par les piétons : 43,8 euros de 2008/habitant.année pour le routier et 11,6 pour le rail. Ces valeurs viennent d'une étude pour la Suisse (villes au-dessus de 50 mille habitants uniquement). Ils indiquent d'ajuster pour les autres pays en fonction du PIB/habitant ajusté en parité de pouvoir d'achat. Pour l'aspect écologique, ils proposent une valeur pour les coûts d'amélioration des traversés de 27,2 €/m² pour l'Allemagne en 2008 (ajustables à d'autres pays selon le même critère) et les coûts de restauration de l'écosystème de 1,52 €/m² en moyenne pour l'UE en 2004.

En conclusion, les coûts de l'effet de coupure sont un sujet encore peu étudié et il n'existe pas de consensus sur comment procéder à ce calcul. Néanmoins, nous proposerons un calcul pour la Wallonie basé sur la méthodologie de l'étude INFRAS & Ecoplan de 2018, reprise par la Commission Européenne en 2019. Notre méthodologie est illustrée par la 9. Il convient de noter que ce type de coût ne concerne pas la navigation intérieure et que nous ne prenons en compte que les effets de coupure sur les milieux naturels, faute de références suffisantes pour proposer un calcul pour les effets en coupure pour les milieux urbains.

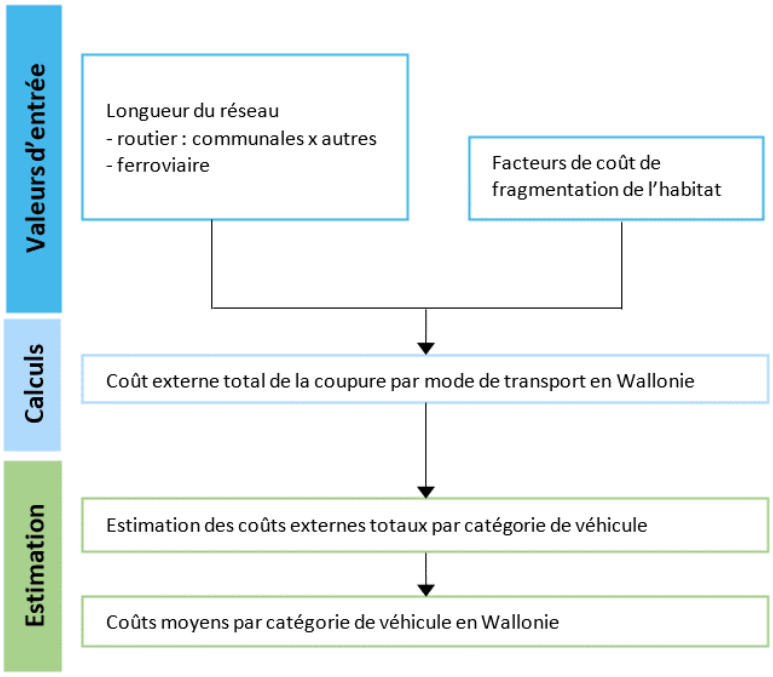


Figure 9 - Méthodologie de calcul des coûts externes de l'effet de coupure (source : INFRAS & Ecoplan, 2018)

Les différentes études qui traitent du sujet de l'effet de coupure, dont celle INFRAS et Ecoplan, de laquelle nous reprenons cette méthodologiene considèrent pas d'effet de coupure pour la navigation intérieure. Nous en faisons de même, en considérant d'une part que la majorité des flux se font sur des cours d'eau qui existent naturellement, même lorsqu'ils ont été par la suite modifiés. Ainsi, leur existence n'est pas fruit de son utilisation en tant qu'infrastructure de transport. D'autre part, les cours d'eau utilisés pour la navigation remplissent à chaque fois une multitude de fonctions au-delà de celle de transport, contrairement aux routes et aux chemins de fer.

2.5.3. DONNÉES D'ENTRÉE

2.5.3.A. LONGUEUR DES RÉSEAUX

La longueur du réseau routier et celle du réseau ferroviaire sont obtenues du SPF Mobilité et Transports[19] et d'Infrabel pour l'an 2010.

Tableau 37 - Longueur des réseaux routier et ferroviaire de Wallonie en 2010 (km) (source : SPF Mobilité et Transports et INFRABEL)

Type d'infrastructure	Longueur du réseau
Autoroutes	869
Autres routes	80 338
Lignes à grande vitesse	130
Autres voies ferrées	1 526

2.5.3.B. FACTEURS DE COÛT

Le guide de la Commission Européenne de 2019 indique des facteurs de coût à utiliser pour la Belgique. Ce sont des facteurs tenant compte uniquement des effets de coupure sur la biodiversité. En isolant la composante d'effet de coupure et en les actualisant pour l'an 2019, par l'évolution du PIB par habitant et pour l'indice des prix de consommation hors-tabac, nous obtenons les facteurs indiqués dans le tableau suivant.

Tableau 38 - Facteurs de coût des infrastructures de transport en Belgique sur les milieux naturels (€$_{2019}$ / km.an)

Autoroute	Autres routes	Lignes de train à grande vitesse	Autres lignes de train
16 215	2 433	30 001	6 525

2.5.4. VALEURS UNITAIRES DE COÛTS EXTERNES PROPOSÉES DANS LA BIBLIOGRAPHIE

Des coûts unitaires de fragmentation de l'habitat par les infrastructures de transport ont pu être calculés pour la référence 4. Ceux-ci sont présentés ici dans le Tableau 3941, pour le transport de voyageurs, et dans le Tableau 4042, pour le fret.

Pour ajuster les coûts dans les tableaux pour l'an 2019, nous faisons évoluer les prix selon l'indice des prix à la consommation (EU en 2019). L'actualisation des valeurs reste un sujet peu développé : qu'il n'y a pas de méthode proposée dans les études de référence pour le faire. Ici nous faisons le choix de le faire selon l'évolution du PIB par habitant, en considérant que c'est selon cet indicateur qu'évolue la disposition à payer pour préserver la continuité des milieux naturels.

[19] https://mobilit.belgium.be/sites/default/files/downloads/evolutie-FR.pdf

Tableau 39 - Coûts unitaires de fragmentation des habitats par les infrastructures de transport de voyageurs (source : calculs propres basés sur Commission Européenne, 2019)

Zone géographique	UE	
N° de référence	4	
Unité	c€$_{2019}$/ personne.km	c€$_{2019}$/ véhicule.km
Voiture en autoroute	0,09	0,16
Voiture autres routes	0,33	0,53
Moto autoroute	0,06	0,05
Moto autres routes	0,20	0,18
TC en autoroute	0,02	0,38
TàGV	0,22	65,38
Train électrique	0,26	34,71
Train diesel	0,39	22,68

Tableau 40 - Coûts unitaires de fragmentation des habitats par les infrastructures de transport de marchandises (source : calculs propres basés sur Commission Européenne, 2019)

Zone géographique	UE	
N° de référence	4	
Unité	c€$_{2019}$/ tonne.km	c€$_{2019}$/ véhicule.km
VUL autoroute	0,23	0,16
VUL autres routes	0,80	0,53
PL autoroute	0,03	0,41
PL autres routes	0,11	1,42
Train électrique	0,11	62,02
Train à diesel	0,12	51,37
Navigation intérieure	nul	nul

2.6. Effets amont et aval

2.6.1. DESCRIPTION DES COÛTS

Les types de coûts discutés précédemment sont directement liés à l'opération des systèmes de transport. Cependant, il y existe une série de processus en amont et en aval qui doivent être pris en compte dans l'analyse des coûts externes des infrastructures de transport. Les effets les mieux connus et pour lesquels il est possible de proposer une monétisation plus fiable sont les émissions de GES et de polluants locaux associés à la distribution d'énergie qui sera ensuite utilisée par les transports. Ils couvrent ainsi des étapes qui précèdent la combustion de carburant (ou la consommation de l'énergie électrique).

D'autres exemples de coûts en amont et en aval sont la construction, la maintenance et l'élimination (en fin de vie utile) des véhicules et des infrastructures. Ces composantes sont plus difficiles à estimer, et, selon la Commission Européenne, jouent un rôle mineur par rapport aux émissions en amont associées à la production et mise à disposition de l'énergie. C'est pourquoi nous nous restreignons au calcul des émissions en amont.

Avec cela, nous observons le cycle de vie des sources d'énergie, ce qui est fondamental pour une analyse plus complète des impacts environnementaux réels des transports. Du point de vue de l'électricité, notamment, qui ne produit aucune émission de GES ni de pollution locale de l'air lors de sa consommation, nous intégrons les effets de la composition du mix énergétique wallon.

2.6.2. MÉTHODOLOGIE

Nous suivons une méthodologie semblable à celle pour la pollution atmosphérique et le changement climatique, mais en nous intéressant cette fois aux facteurs d'émission en amont par type de polluant et de source d'énergie.

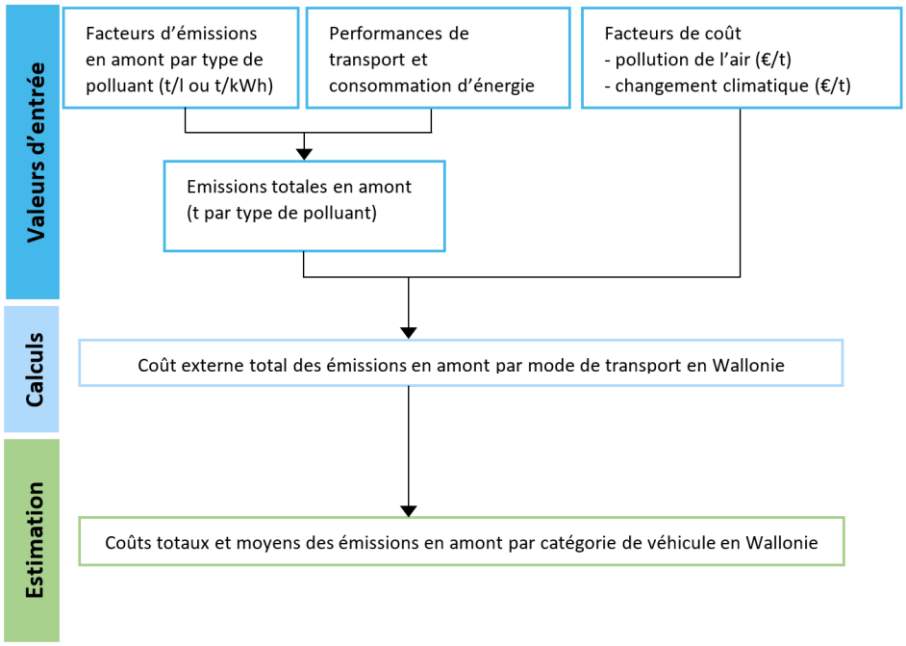


Figure 10 - Méthodologie de calcul des coûts externes des effets amont et aval (source : INFRAS & Ecoplan, 2018)

2.6.3. DONNÉES D'ENTRÉE

2.6.3.A. FACTEURS D'ÉMISSION EN AMONT

Il s'agit ici des tonnes d'émissions par litre ou kWh produites par toutes les étapes du processus de production et de mise à disposition de l'énergie, avant sa consommation. Des facteurs d'émissions indirectes de CO_2 par source d'énergie sont obtenus de l'Agence de la Transition Écologique (ADEME, de France) et du SPW-AOT, autorité qui organise les transports en commun en Wallonie et qui se base sur l'ADEME pour effectuer ce calcul.

Pour les polluants locaux, nous ne retrouvons pas de facteurs d'émissions indirectes par litre, kWh ou kg dans les références, mais l'étude STREAMS de CE Delft (2014), reprise par l'étude de TM Leuven (2016) pour la Flandre, indique des facteurs d'émission indirecte par mégajoule (MJ) en 2011. En observant les proportions, il est possible d'estimer les facteurs d'émission pour les polluants locaux par type de carburant en Wallonie. Le Tableau 4143 synthétise les facteurs retenus.

Tableau 41 – Facteurs d'émissions indirectes des sources d'énergie

Source d'énergie	CO_2e	NO_x	PM	VOC	SO_2
Diesel	0,00059 tCO_2e/l	0,00111 kg/l	0,000104 kg/l	0,00253 kg/l	0,00333 kg/l
Essence	0,00046 tCO_2e/l	0,00138 kg/l	0,000153 kg/l	0,00285 kg/l	0,00393 kg/l
Électricité	0,00026 tCO_2e/kWh	-	-	-	-
Bioéthanol	0,00102 tCO_2e/l	-	-	-	-
Biogaz	0,00005 tCO_2e/kg	-	-	-	-

2.6.3.B. PERFORMANCES DE TRANSPORT ET CONSOMMATION D'ÉNERGIE

Nous reprenons les performances de transport par mode de transport et catégorie de véhicule en vkm (ou train-km ou bateau-km) calculées en 2.3.3.a.

2.6.3.C. FACTEURS DE COÛT

Nous reprenons ici les facteurs de coût déjà déterminés pour une tonne par type de polluant.

Pour effet de comparaison, nous présentons également les valeurs proposées pour la Belgique par le guide de la Commission Européenne (2019), avec valeurs et prix actualisés (indexés au PIB et à l'indice des prix de consommation hors tabac, respectivement).

Tableau 42 - Facteurs de coût par type de polluant, pour la Belgique (€$_{2019}$/kg) (source : Commission Européenne, 2019)

Type de polluant	Facteur de coût
NOx	17,0
NMVOC	3,8
SO_2	18,0
$PM_{2.5}$	36,3
PM_{10}	49,5

Source : Commission Européenne, 2019

2.6.4. VALEURS PROPOSÉES DANS LA BIBLIOGRAPHIE

Les valeurs unitaires proposées dans la bibliographie sont synthétisées dans le Tableau 43, pour le transport de personnes, et dans le Tableau 4446, pour le fret.

Tableau 43 - Valeurs unitaires de coûts externes des processus en amont pour le transport de personnes

Zone géographique	UE		France
N° de référence	4		11
Unité	c€$_{2019}$/ personne.km	c€$_{2019}$/ véhicule.km	c€$_{2019}$/ véhicule.km
Voiture	0,45	0,74	1,41
Voiture essence	0,5	0,76	-
Voiture diesel	0,44	0,70	-
Deux roues motorisés	0,60	0,63	0,66
TC routier	0,18	3,70	4,43
TàGV	0,4	108	
Train électrique	0,9	126,3	40,10
Train diesel	0,13	7,96	213,26

Tableau 44 - Valeurs unitaires de coûts externes des processus en amont pour le fret

Zone géographique	UE		France
N° de référence	4		11
Unité	c€$_{2019}$/ tonne.km	c€$_{2019}$/ véhicule.km	c€$_{2019}$/ véhicule.km
VUL	1,36	0,94	1,78
VUL essence	1,40	0,96	-
VUL diesel	1,35	0,94	-
PL	0,2	3,0	4,63
Train électrique	0,19	103	47,7
Train diesel	0,17	72,7	224,46
Navigation intérieure	0,15	227,0	151,1

2.7. Coûts de la congestion

La congestion peut être considérée comme un coût externe (impact croisé entre usagers) ou comme un coût interne au mode routier (chaque usager souffrant de la congestion qu'il génère). Ainsi, nous traitons ici la congestion de manière différente des autres types de coûts. Nous présentons une estimation du coût socio-économique qu'elle représente afin d'exposerune image complète de l'impact des différents modes de transport.

L'estimation de la congestion se fait idéalement à l'aide d'un modèle de trafic sur un périmètre restreint. Pour estimer l'impact de la congestion au niveau de la Wallonie, nous faisons ici appelle aux valeurs de référence proposées ailleurs. Parmi les études de référence consultées, le rapport Quinet de 2013 propose des références quantitatives, reprises et actualisées par le Ministère de la Transition Écologique pour la France. Le Handbook de la Commission Européenne fournit également des valeurs. Nous les présentons dans les tableaux ci-dessous, en les actualisant en prix pour l'an de référence 2019 et en valeur selon le PIB par tête avec une élasticité de 0,7 pour le transport de voyageurs, une élasticité de 2/3 pour les chargeurs et une élasticité nulle pour les transporteurs. Pour les 2RM, aucune valeur n'était proposée : nous adoptons la moitié des valeurs pour les VP, suivant la logique de l'équivalent voiture particulière (EVP).

Tableau 45 - Coûts unitaires de la congestion pour le transport de voyageurs (source : calculs de STRATEC sur base de CE,2019)

Type de véhicule	Coût en c€$_{2019}$/pkm	Coût en c€$_{2019}$/vkm
VP	4,4	7,0
2RM	2,2	3,5
TC routiers	0,7	14,5

Tableau 46 - Coûts unitaires de la congestion pour le fret (source : calculs de STRATEC sur base de CE,2019)

Type de véhicule	Coût en c€$_{2019}$/tkm	Coût en c€$_{2019}$/vkm
VUL	11,6	8,1
PL	1,3	17,7

Tableau 47 - Valeur du temps pour les déplacements urbains (€$_{2019}$/h) selon le motif (source : calculs de STRATEC sur base de Ministère de la Transition Écologique, 2020)

Motif du déplacement	Valeur du temps
Professionnel	19,4
Domicile-travail/études/garderie	11,0
Autres	7,5
Sans détail du motif	8,7

Tableau 48 - Valeur du temps pour les déplacements interurbains (€$_{2019}$/h) selon le mode, le motif et la distance du déplacement (source : calculs de STRATEC sur base de Ministère de la Transition Écologique, 2020)

Mode	Motif du déplacement	20 km	80 km	400 km
Route - VP	Tous motifs	8,7	14,7	16,9
	Professionnel	19,4	32,8	38,5
	Personnel-vacances	7,5	9,7	13,7
	Personnel-autres	7,5	12,0	18,8
Route - autocar	Tous motifs	8,7	19,8	13,2
	Professionnel	19,4	29,5	31,0
	Personnel-vacances	7,5	9,7	10,8
	Personnel-autres	7,5	12,0	14,1
Fer	Tous motifs	8,7	25,1	29,0
	Professionnel	19,4	48,0	48,0
	Personnel-vacances	7,5	24,1	24,1
	Personnel-autres	7,5	25,1	25,1

Tableau 49 - Valeur du temps pour les chargeurs (€$_{2019}$/t.h) (source : calculs de STRATEC sur base de Ministère de la Transition Écologique, 2020)

Type de marchandise	Valeur du temps de déplacement
Marchandises à forte valeur ajoutée	0,66
Marchandises courantes	0,22
Marchandises à faible valeur ajoutée	0,01

Tableau 50 - Valeur du temps pour les transporteurs (€$_{2019}$/h) (source : calculs de STRATEC sur base de Ministère de la Transition Écologique, 2020)

Mode	Valeur du temps de déplacement
Routier (PL ou autocar)	39
Ferroviaire (par train)	492
Autres modes	Au cas par cas

3. PARTIE 2 : CALCUL DU COÛT EXTERNE TOTAL PAR TYPE DE COÛT

3.1. Accidents

Comme détaillé dans la méthodologie, le calcul du coût externe des accidents entre véhicules routiers par type de véhicule est effectué en affectant les victimes d'un véhicule à celui qui l'oppose, lors de l'accident, indépendamment du responsable, comme le propose la méthodologie sélectionnée. Les coûts externes des accidents avec un véhicule seul sont attribués à ce véhicule, à l'exception du coût humain.

Dans la section 0, nous indiquons le nombre estimé de victimes opposées à chaque type de véhicule, corrections dues à la sous-notification comprises.

Pour les accidents entre véhicules et trains, nous attribuons tous les coûts au mode routier et les coûts humains sont considérés 100% internalisés puisque nous faisons l'hypothèse que l'usager de la route qui croise un passage à niveau lorsque c'est interdit ou celui qui envahit la voie ferrée sont entièrement conscients du risque que cela représente.

En connaissant le nombre de victime et le coût par victime, nous aboutissons aux coûts totaux par type de véhicule. Les résultats sont présentés dans le Tableau 5153 pour les transports de passagers et dans le Tableau 5254 pour le fret.

Tableau 51 - Calcul du coût externe total par type de véhicule dans le transport de passagers (source : STRATEC sur base des statistiques d'accidents de l'AWAR pour 2018 et 2019)

Type de véhicule	Décès 30 jours	Blessés graves	Blessés légers	Coût total ($€_{2019}$)
VP	185	815	19 425	1 288 644 000
2RM	26	107	1 777	47 785 000
TC routiers	3	8	329	23 983 000
Train passagers	2,4	1,9	22,1	4 033 000

Tableau 52 - Calcul du coût externe total par type de véhicule dans le fret (source : STRATEC sur base des statistiques d'accidents de l'AWAR pour 2018 et 2019)

Type de véhicule	Décès 30 jours	Blessés graves	Blessés légers	Coût total ($€_{2019}$)
VUL	15	63	1 308	105 972 000
PL	38	61	889	191 581 649
Train fret	0,1	0	1,7	121 541

3.2. Bruit

Pour déterminer le coût externe total du bruit, la méthodologie sélectionnée indique de multiplier le nombre de personnes touchées (par tranche de niveau sonore) au coût généré par personne touchée par du bruit de la tranche de niveau sonore correspondante. Or, les données d'entrée qu'il a été possible d'obtenir ne prennent en compte qu'une partie des personnes touchées par cette nuisance. Nous procédons tout de même au calcul d'un coût total par cette méthode, puis les coûts unitaires qui en découleront seront comparés aux valeurs de référence obtenues dans la bibliographie, pour évaluer leur pertinence.

Nous reprenons donc le Tableau 12 (personnes affectées par le bruit routier) et le Tableau 133 (personnes affectées par le bruit ferroviaire), ainsi que le Tableau 144 (coût externe par personne touchée par tranche de niveau sonore). Nous retrouvons ainsi les coûts totaux , tous types de véhicules confondus pour le trafic routier, et de même pour le ferroviaire.

Tableau 53 - Calcul du coût externe total du bruit routier en Wallonie (€$_{2019}$) (calculs de STRATEC)

L_{den} (dB(A))	Transport routier sur axes à plus de 3 millions de passages/an (2017, 2019)	Transport routier dans la commune de Liège (2015)	Transport routier dans la commune de Charleroi (2015)	TOTAL
55-59	5 728 000	714 000	1 076 000	7 518 000
60-64	5 184 000	1 832 400	1 944 000	8 960 400
65-69	4 820 000	2 004 000	1 460 000	8 284 000
70-74	7 644 200	1 583 600	1 295 000	10 522 800
≥ 75	505 600	244 900	63 200	813 700
TOTAL	23 881 800	6 378 900	5 838 200	**36 098 900**

Tableau 54 - Calcul du coût externe total du bruit ferroviaire en Wallonie (€$_{2019}$) (calculs de STRATEC)

L_{den} (dB(A))	Transport ferroviaire sur axes à plus de 3 millions de passages/an (2017, 2019)	Transport ferroviaire dans la commune de Liège (2015)	Transport ferroviaire dans la commune de Charleroi (2015)	TOTAL
55-59	894 000	140 000	124 000	1 158 000
60-64	839 800	209 000	117 800	1 166 600
65-69	552 000	128 000	72 000	752 000
70-74	569 800	177 600	66 600	814 000
≥ 75	110 600	134 300	63 200	308 100
TOTAL	2 966 200	788 900	443 600	**4 198 700**

La distribution de ces coûts totaux entre types de véhicule ne peut être déterminée précisément, puisque les mesures de bruit sur les axes routiers ne permettent pas d'isoler celui de chaque véhicule. Nous utilisons donc un artifice pour ce faire, en déterminant les poids de chaque catégorie selon les coûts unitaires par vkm proposés par la Commission Européenne multipliés par les vkm parcourus sur les routes wallonnes.

Tableau 55 - Calcul du coût externe total annuel du bruit par type de véhicule (calculs de STRATEC)

Catégorie de véhicule	Coût unitaire (c€$_{2019}$/vkm) (CE, 2019)	Performance de transport (millions de vkm/an)	C x P	Poids	Coût total (€$_{2019}$)
VP	0,8	31 397	25 118	0,459	16 583 494
2RM	9,4	562	5 279	0,097	3 485 313
VUL	1,1	4 735	5 209	0,095	3 439 032
PL	6,5	2 845	18 497	0,338	12 212 070
TC routiers	6,4	90,4	574	0,010	378 991
Train passagers	100	33,4	3 340	0,751	3 151 384
Train fret	300	3,7	1 110	0,249	1 047 316

3.3. Pollution de l'air

Pour déterminer le coût externe total de la pollution de l'air, la méthodologie sélectionnée indique de multiplier les vkm parcourus par type de véhicule par les facteurs d'émission par vkm, puis par les facteurs de coût par type de polluant. Pour ce type de coût, cependant, les performances de transport (en vkm) sont connues en moins de détail que les facteurs d'émission. En effet, les vkm parcourus sur le réseau wallon ne sont pas connus pour chaque type de véhicule par type de motorisation, ce qui ne permet pas d'avoir une estimation précise du coût total.

C'est au niveau des coûts unitaires qu'il sera possible d'obtenir des estimations plus fiables.

3.4. Changement climatique

Mêmes limitations qu'en 3.3. Nous présenterons directement les coûts unitaires.

3.5. Effet de coupure

Pour déterminer le coût externe total de l'effet de coupure, la méthodologie propose de multiplier la longueur du réseau de transport (par type d'infrastructure) par son facteur de coût.

Tableau 56 - Calcul des facteurs de coût de l'effet de coupure (calculs de STRATEC)

Type d'infrastructure	Longueur du réseau (km)	Facteur de coût ($€_{2019}$/km.an)	Facteur de coût ($€_{2019}$/an)
Autoroute	869	16 215	14 090 835
Autres routes	80 338	2 433	195 462 354
Lignes de train à grande vitesse	130	30 001	3 900 130
Autres lignes de train	1 526	6 525	9 957 150
Total routier	-	-	209 553 189
Total ferroviaire	-	-	13 857 280

L'affectation des coûts externes totaux du morcellement des milieux naturels à des catégories de véhicules n'est pas directe, puisque les infrastructures provoquent un effet de coupure de façon peu dépendante du flux. Le calcul proposé ici est de partager ces coûts entre les catégories selon des poids consistant du produit des vkm parcourus par l'équivalent-voiture particulière (EVP), une unité de mesure typique de l'ingénierie des transports qui tient compte de la longueur du véhicule, et donc, de l'espace qu'il occupe sur le réseau.

Tableau 57 - Affectation des coûts externes totaux de l'effet de coupure aux catégories de véhicules (calculs de STRATEC)

Catégorie de véhicule	Performance de transport (vkm/an)	EVP	P x EVP	Coût total ($€_{2019}$/an)
VP	31 397 800 000	1	31 397 800 000	155 594 712
2RM	561 600 000	1	280 800 000	1 391 530
VUL	4 735 400 000	1	4 735 400 000	23 466 714
PL	2 845 700 000	2	5 691 400 000	28 204 261
TC routiers	90 400 000	2	180 800 000	895 971
Total routier	**39 630 900 000**	**-**	**42 286 200 000**	**209 553 189**
Trains passagers	33 400 000	-	-	12 475 287
Train fret	3 700 000	-	-	1 381 993
Total ferroviaire	**37 100 000**	**-**	**-**	**13 857 280**

3.6. Effets amont et aval

Les effets amont sont associés à des émissions dans les processus de production et de mise à disposition de l'énergie (que ce soit un carburant ou de l'électricité). Ils sont donc approximativement proportionnels aux vkm parcourus, et liés par définition à la source d'énergie employée. C'est pourquoi, tout comme pour la pollution de l'air et le changement climatique, nous n'avons pas suffisamment d'information pour estimer précisément les coûts totaux, mais plutôt les coûts unitaires par vkm.

4. PARTIE 3 : CALCUL DES COÛTS EXTERNES UNITAIRES PAR TYPE DE COÛT

Une fois estimé les différents coûts externes par type de véhicule, nous passons à la détermination de ratios unitaires, des coûts rapportés aux vkm, aux pkm et aux tkm. Pour procéder à ces calculs, nous utilisons les performances de transport par type de véhicule pour la Wallonie tirées de sources officielles quand ces données existent, ou à défaut, nous considérons des estimations.

Tableau 58 - Performances de transport par type de véhicule prises en compte dans les calculs effectués

Catégorie de véhicule	Performance de transport (vkm/an)	Performance de transport (pkm/an)	Performance de transport (tkm/an)
VP	31 397 800 000	40 817 140 000	-
2RM	561 600 000	561 600 000	-
TC routiers	218 100 000	3 771 000 000	-
Train passagers	33 400 000	3 719 252 000	-
VUL	4 735 400 000	-	568 248 000
PL	2 845 700 000	-	28 457 000 000
Train fret	3 700 000	-	2 160 000 000
Navigation intérieure	2 925 000	-	1 685 000 000

Pour les VP, nous retenons les vkm annuels indiqués par le SPFM&T et un taux d'occupation des véhicules de 1,3, d'après le BFP (2021)[20]. Pour les 2RM, les vkm annuels viennent également de l'IWEPS, et le taux d'occupation de 1,0 passager par véhicule est tiré de la Commission Européenne (2019). Pour les TC routiers, nous retenons les vkm et pkm annuels publiés par l'IWEPS pour les autobus et autocars. Attention, les autocars ne concernent pas uniquement les transports publics wallons (TEC) mais aussi les lignes commerciales régulières et les autocars privés affrétés pour des besoins particuliers (voyage de classe, voyage organisé, etc.).

Les valeurs pour les trains de passagers sont estimées sur base des dernières valeurs publiées par la SNCB et de l'évolution observée depuis pour la Belgique, en considérant que la part de la région soit restée constante depuis la dernière année pour laquelle l'information est disponible (2015). Pour les VUL, les vkm et le taux de charge moyen sont retirés du SPW. Pour les PL, les vkm sont issus du modèle de transport routier développé par STRATEC en 2020-2021 dans le cadre de l'étude sur les évolutions du prélèvement kilométrique PL. Le taux de chargement est repris des valeurs utilisées en France dans diverses études.[21] Pour les trains de fret, les tkm annuels et le taux de charge moyen sont retirés de la SRM volet transport de marchandises. Enfin, pour la navigation intérieure, les tkm annuels en 2019 et le taux de charge moyen sont retirés des données publiées par la DGO 2 sur son site. Les tableaux suivants présentent les hypothèses de chargement par type de véhicule pour les voyageurs et le fret.

[20] https://www.plan.be/uploaded/documents/202101280843220.Article_006_CARP_FR.pdf

[21] Voir par exemple cette étude sur l'internalisation des coûts marginaux : https://www.ecologie.gouv.fr/sites/default/files/thema_mobilite_co%C3%BBts_externes_et_tarification_du_deplacement_decembre2020_0.pdf

Ces hypothèses nous permettent de comparer l'impact des différents modes de transport en corrigeant les différences de capacité des véhicules. La comparabilité n'est cependant pas complète, car les modes de transport ne sont pas toujours entièrement substituables. C'est particulièrement le cas pour le transport de marchandises pour lequel les différents modes de transport et types de véhicules répondent à des besoins différents (type de marchandises, classes de distances, tournée ou livraison unique, etc.) qui ne peuvent pas toujours être satisfaits de manière équivalente par un autre mode de transport. De plus, étant donné que différents types de marchandises présentent des densités volumétriques différentes, la capacité des véhicules est davantage dictée pour certains types de flux par des considérations de volume que de masse.

Tableau 59 : Hypothèses de remplissage des véhicules de transport de personne

Type de véhicule	Pax/véh	Source
VP	1,3	BFP, 2021
2RM	1,0	CE, 2019
TC routiers	17,3	OTW, 2020
Train pax	111	Calculs STRATEC sur base d'INFRABEL

Tableau 60 : Hypothèses de remplissage des véhicules de transport de marchandises

Type de véhicule	t/véh	Source
VUL	0,12	SPW d'après BFP (0.119t/PL, arrondi Stratec)
PL	10,0	DGITM FR (9,75t/PL, arrondi Stratec)
Train fret	584	Calculs STRATEC sur base d'INFRABEL
Voie d'eau	576	Rapport annuel 2018 DGO2

4.1. Accidents

Les coûts externes totaux des accidents attribués à chaque catégorie de véhicule sont calculés en section 3.1. Ils sont ensuite rapportés à la performance de transport (Tableau 58) de la catégorie correspondante. Les résultats de ces calculs fournissent les coûts unitaires indiqués dans le Tableau 612 pour le transport de personnes et dans le Tableau 623 pour le fret.

Tableau 61 - Coût externe unitaire des accidents par type de véhicule dans le transport de personnes

Catégorie de véhicule	Coût externe total ($€_{2019}$/an)	Coût externe unitaire ($€_{2019}$/vkm)	Coût externe unitaire ($€_{2019}$/pkm)
VP	1 288 644 000	0,04	0,03
2RM	47 785 000	0,09	0,09
TC routiers	23 983 000	0,11	0,006
Train passagers	4 033 000	0,12	0,001

Tableau 62 - Coût externe unitaire des accidents par type de véhicule dans le fret

Catégorie de véhicule	Coût externe total ($€_{2019}$/an)	Coût externe unitaire ($€_{2019}$/vkm)	Coût externe unitaire ($€_{2019}$/tkm)
VUL	105 972 000	0,02	0,18
PL	191 582 000	0,07	0,006
Train fret	121 541	0,03	0,00006
Navigation intérieure	-	-	-

Les résultats obtenus sont présentés sous forme de graphiques en comparant trois types d'indicateurs :

- **Le coût total** (barres grises, échelle de gauche) qui permet d'identifier les modes de transport ayant les plus gros impacts en termes de coûts externes, il s'agit généralement de la route car ce mode présente les plus grandes parts.
- **Le coût externe unitaire par vkm** (points rouges, échelle de droite) qui permet d'estimer l'impact d'un véhicule circulant sur un kilomètre en moyenne mais sans tenir compte des différences de capacité entre ces véhicules. Les modes les plus capacitaires ont donc tendance à apparaître au-dessus des modes correspondant à des véhicules plus petits.
- **Le coût externe unitaire par pkm ou tkm** (points verts, échelle de gauche) qui, rapporté au volume de voyageurs ou de marchandises transportées, permet une véritable comparaison des impacts unitaires entre modes de transports.

Pour les transports de personnes, ce sont les VP qui présentent les plus gros impacts totaux alors que les deux-roues motorisés présentent les plus forts impacts unitaires du fait de leur dangerosité. Les TC routiers et trains présentent des coûts par vkm élevés mais des coûts par pkm faibles.

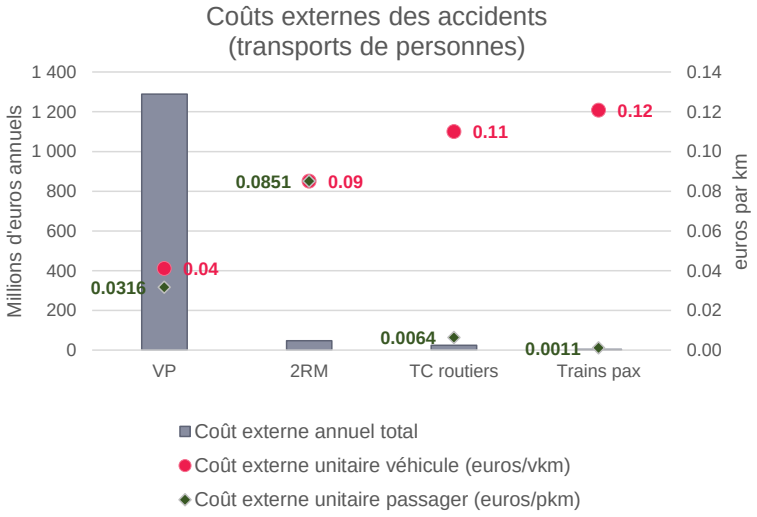


Figure 11 - Coûts externes des accidents (transport de personnes)

Pour le transport de marchandises, les VUL et PL constituent l'essentiel des externalités négatives émises. Les coûts d'accident par vkm sont plus élevés pour les PL alors que les VUL présentent des coûts plus élevés à la tonne. Les trains de fret sont particulièrement sûrs avec des valeurs faibles. Enfin, l'estimation des coûts d'accidents pour la navigation d'intérieur n'a pas été réalisée faute de données. Ces coûts sont supposés proche de 0 car aucun accident corporel n'est recensé.

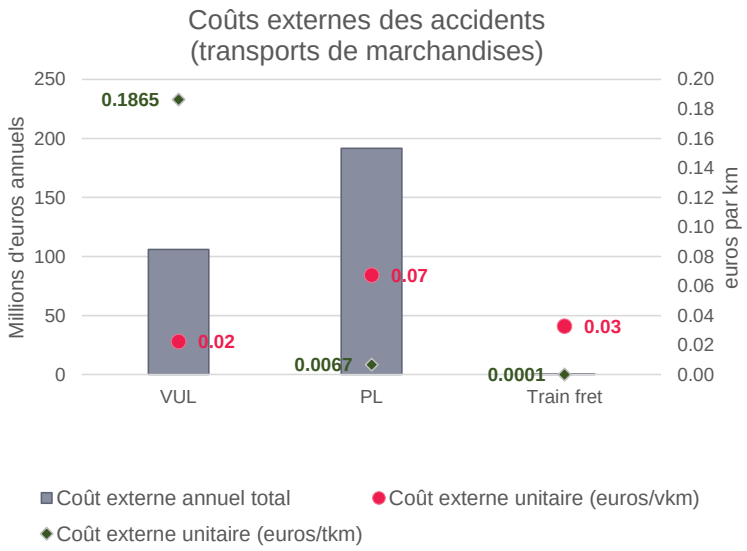


Figure 12 - Coûts externes des accidents (transport de marchandises)

4.2. Bruit

Les coûts externes totaux du bruit attribués à chaque catégorie de véhicule sont calculés en section 3.2. Ils sont ensuite rapportés à la performance de transport (Tableau 58) de la catégorie correspondante. Les résultats de ces calculs fournissent les coûts unitaires indiqués dans le Tableau 635665 pour le transport de personnes et dans le Tableau 6366 pour le fret.

Tableau 65 - Coût externe unitaire du bruit par type de véhicule dans le transport de personnes

Catégorie de véhicule	Coût externe unitaire ($€_{2019}$/vkm)
VP	0,0005
2RM	0,0058
TC routiers	0,0039
Train de passagers	0,0944

Tableau 636 - Coût externe unitaire du bruit par type de véhicule dans le fret

Catégorie de véhicule	Coût externe unitaire ($€_{2019}$/vkm)
VUL	0,0007
PL	0,0046
Train de fret	0,28
Navigation intérieure	0

Les coûts unitaires calculés ainsi sont très faibles par rapport aux références bibliographiques, ce qui est dû à une sous-évaluation du nombre de personnes touchées par cette nuisance en Wallonie, étant donné la disponibilité de données. C'est pourquoi, pour avoir une estimation plus cohérente, nous reprenons les coûts unitaires proposés par la Commission Européenne (2019), en les ajustant par le revenu/habitant pour la région wallonne.

Quant au bruit des VP électriques, nous proposons une valeur unitaire de 0,8 c€/vkm, donc légèrement inférieure à celles indiquées pour les VP essence et diesel. Le bruit produit par les VP électriques est encore insuffisamment étudié, mais Jochem *et al.* (2016) indiquent que les nuisances sonores produites par les véhicules électriques sont seulement légèrement inférieures aux produites par les véhicules thermiques. Cela s'explique par le fait que les nuisances sonores sont en majorité liées au bruit de roulement sur la chaussée plutôt qu'au bruit du moteur. Nous retenons finalement les coûts externes présentés dans le Tableau 6467 et le Tableau 6568.

La navigation d'intérieur est réputée silencieuses et ses impacts en termes de bruit sont supposés nuls.

Tableau 647 - Coûts externes unitaires du bruit retenus pour le transport de voyageurs

Catégorie de véhicule	Coût externe unitaire (c€/vkm)	Coût externe unitaire (c€/pkm)
VP essence	1,0	0,8
VP diesel	1,1	0,9
VP électrique	0,8	0,6
2RM	12	11,7
TC routiers	6	0,3
Train de passagers électrique	132	1,2
Train de passagers ligne non-électrifiée	101	1,1

Tableau 658 - Coûts externes unitaires du bruit retenus pour le fret

Catégorie de véhicule	Coût externe unitaire (c€/vkm)	Coût externe unitaire (c€/tkm)
VUL essence	1,4	11,4
VUL diesel	1,4	11,4
PL	9	0,9
Train de fret électrique	448	0,8
Train de fret ligne non-électrifiée	251	0,4

Nous présentons les résultats obtenus sur les deux graphiques suivants (attention à l'échelle logarithmique sur la droite).

Tous les modes de transport contribuent aux nuisances sonores à différents niveaux, sauf la navigation d'intérieur. Une fois encore, c'est la route qui est responsable des plus gros volumes de nuisances sonores, mais ceci s'explique surtout par la prédominance de ce mode dans la répartition modale. Les deux-roues motorisés présentent les plus fortes nuisances sonores par personne transporté alors que les trains sont responsables des plus fortes nuisances par véhicule.

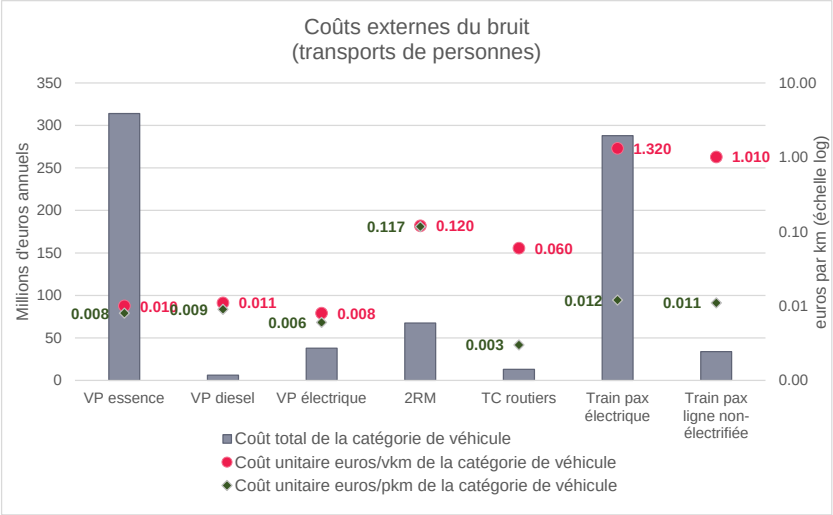


Figure 13 - Coûts externes du bruit (transport de personnes)

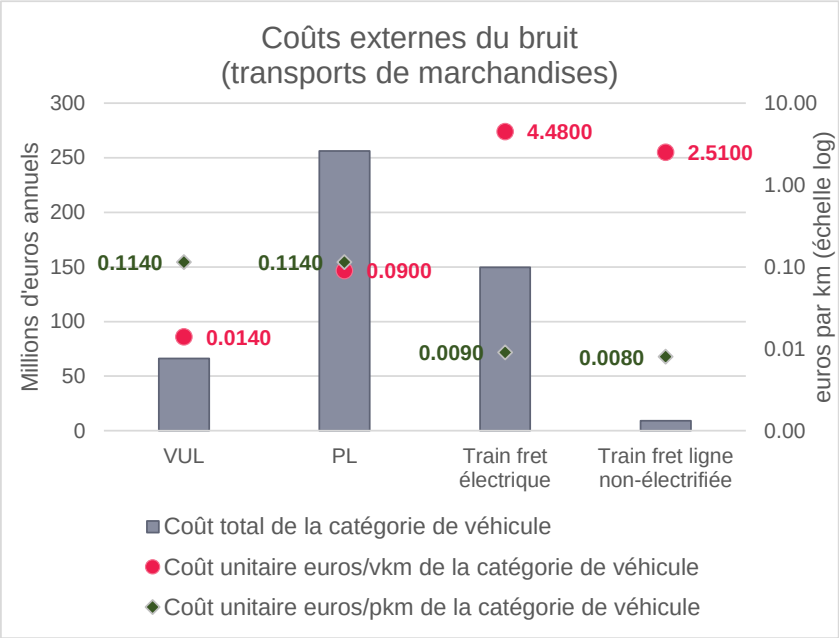


Figure 14 - Coûts externes du bruit (transport de marchandises)

4.3. Pollution de l'air

Le calcul du coût unitaire de la pollution de l'air se fait directement par le produit des facteurs de coût de chaque type de polluant par le facteur d'émission pour chaque type de véhicule associé à ce même polluant.

4.3.1. MODE ROUTIER

Pour les VL, les 2RM, les VUL et les TC routiers, nous reprenons les valeurs unitaires proposées par l'instruction-cadre française, en les actualisant et corrigeant pour la Wallonie, comme présenté au chapitre 2.3.3.b.1.

Tableau 69 - Coûts unitaires de la pollution de l'air par type de véhicule et par tranche de densité démographique (c€$_{2019}$/vkm) (calculs de STRATEC d'après données du Ministère de la Transition Écologique, France)

Catégorie de véhicule	Urbain très dense	Urbain dense	Urbain	Urbain diffus	Interurbain	Moyenne pondérée
Voiture essence	4,7	1,4	0,6	0,4	0,3	0,5
Voiture diesel	15,2	4,2	1,7	1,4	1,1	1,5
Voiture GPL	4,0	1,1	0,6	0,4	0,1	0,4
Deux roues motorisés	7,2	2,0	0,9	0,6	0,5	0,7
TC routier	89,5	18,1	8,9	4,8	3,3	5,9
VUL essence	6,7	1,9	0,7	0,5	0,3	0,6
VUL diesel	21,6	6,1	2,7	2,1	1,9	2,3

Pour les PL, un calcul plus détaillé est fait, sur base du modèle de trafic routier développé par Stratec. Nous multiplions les valeurs du Tableau 21 (facteurs d'émission par norme Euro), du Tableau 22 (scénarios de consommation considérés) et du Tableau 29 (facteurs de coût). Le résultat obtenu est synthétisé dans le Tableau 70665970.

Tableau 70 - Coûts unitaires de la pollution de l'air des poids lourds par norme Euro et MMA (c€$_{2019}$/vkm)

Norme	3,5t – 12 t				12 t – 32 t				> 32 t			
	Autoroute	Nationale	Urbain	Urbain dense	Autoroute	Nationale	Urbain	Urbain dense	Autoroute	Nationale	Urbain	Urbain dense
Euro 0	62	82	103	128	113	138	164	215	144	179	190	231
Euro I	42	56	70	88	77	95	112	147	98	123	130	158
Euro II	29	39	49	61	54	66	78	102	68	85	90	110
Euro III	21	29	36	45	39	48	57	75	50	63	66	80
Euro IV	13	17	22	27	24	29	35	46	31	38	40	49
Euro V	8	10	13	16	14	17	21	27	18	23	24	29
Euro VI	2	2	3	4	3	4	5	6	4	5	5	6
Moyenne	**9**	**11**	**14**	**18**	**14**	**17**	**21**	**27**	**9**	**11**	**12**	**15**

Des valeurs uniques de **14 c€/vkm** et **1,4 c€/tkm** pour les PL sont proposées sur base de la répartition de la flotte en classes de MMA sur le réseau payant, issue de ce même modèle : 85% pour les >32t, 10% pour les compris entre 12 et 32t et 5% pour les <12t.

4.3.2. MODE FERROVIAIRE

Pour le mode ferroviaire, le calcul des coûts unitaires de la pollution de l'air produite par les trains diesel est indiqué dans le Tableau 6760 pour le transport de voyageurs et dans le Tableau 6861 pour le fret. Les facteurs d'émission retenus correspondent à ceux du modèle allemand TREMOD pour les courtes distances, choix qui est fait compte tenu des faibles dimensions du territoire wallon.

Tableau 71 - Coûts unitaires de la pollution de l'air des trains diesel de voyageurs

Polluant	Facteur d'émission (g/train-km)	Facteur de coût pour le polluant (c€$_{2019}$/kg)	Coût unitaire c€/train-km	Coût unitaire c€/pkm
CO	5,06	7,96	0,040	-
HC	5,06	174,56	0,9	
NOx	45,07	2 884,44	130,0	
PM	0,72	3 707,38	2,7	
		TOTAL	135	1,2

Tableau 72 - Coûts unitaires de la pollution de l'air des trains diesel de fret

Polluant	Facteur d'émission (g/train-km)	Facteur de coût pour le polluant (c€$_{2019}$/kg)	Coût unitaire c€/train-km	Coût unitaire c€/tkm
CO	7,66	7,96	0,061	-
HC	7,66	174,56	1,3	
NOx	48,54	2 884,44	140,0	
PM	0,87	3 707,38	3,2	
		TOTAL	145	0,2

4.3.3. MODE FLUVIAL

Pour la navigation intérieure, les polluants comptés dans le modèle de référence TREMOD ne correspondent pas toujours précisément aux facteurs de coût proposés par CE Delft (2017), ce qui a demandé de faire des hypothèses, en considérant que le facteur de coût d'un groupe de polluants pourrait être repris pour un polluant précis faisant partie de cet ensemble.

Tableau 73- Coût unitaire de la pollution de l'air pour la navigation intérieure

Polluant	Facteur d'émission (g/bateau-km)	Facteur de coût pour le polluant (c€$_{2019}$/kg)	Coût unitaire (c€$_{2019}$/bateau-km)	Coût unitaire (c€$_{2019}$/tkm)
CO	88,1	7,96	0,701	
HC	23	174,56	4,01	
NOx	429	2 884,44	1237	
PM	11	3 707,38	40,8	
N2O	0,38	2 884,44	1,10	
NH3	0,09	253,53	0,0228	-
BC (black carbon)	5,62	6 608,44	37,1	
SO2	0,28	2 069,81	0,580	
Benzène	0,4	88,11	0,0352	
Toluène	0,19	2 618,44	0,498	
Xylène	0,19	174,56	0,0332	
		TOTAL	1322	2,30

Il convient de préciser que ces coûts unitaires sont issus d'un modèle allemand, étant correspondant à leur contexte géographique. Un calcul alternatif se fait selon l'instruction-cadre française, qui indique des facteurs de coût en fonction de la densité démographique. Nous faisons ce calcul alternatif sur base d'une estimation de la densité démographique au long des voies navigables wallonnes, en considérant le scénario suivant : 85% des bateaux-km en urbain diffus (37-450 hab/km²), 10% des bateaux-km en urbain (450-1500 hab/km²) et 5% en urbain dense (1500-4500 hab/km²). Nous aboutissons à un coût de **1 250 c€/bateau-km**, ce qui reste assez proche des résultats du modèle allemand, mais en tenant mieux compte de la réalité géographique wallonne.

Nous présentons les résultats obtenus sous forme des deux graphiques suivants (attention à l'échelle logarithmique sur la droite).

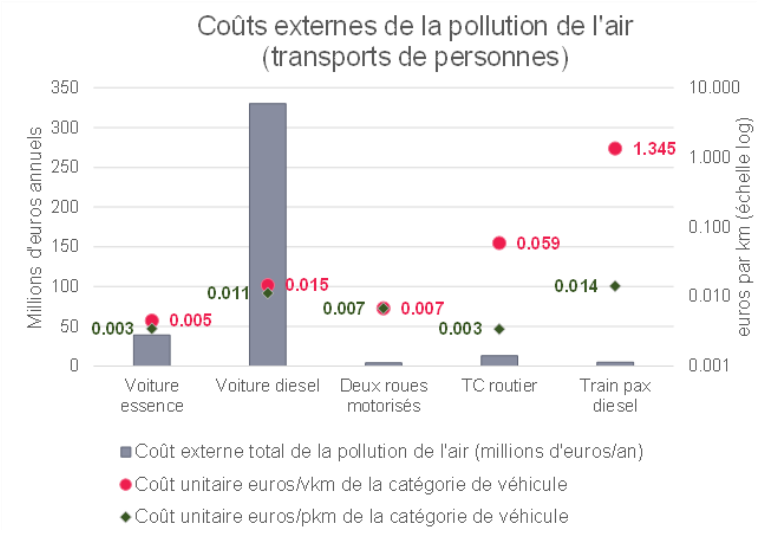


Figure 15 - Coûts externes de la pollution de l'air (transport de personnes)

Ce sont les véhicules recourant au carburant diesel qui présentent les plus gros impacts de pollution de l'air. Les véhicules à motorisation électrique ne sont pas présentés ici car leurs émissions à l'usage sont nulles. Pour le fret, la navigation fluviale présente les coûts unitaires à la tonne les plus élevés.

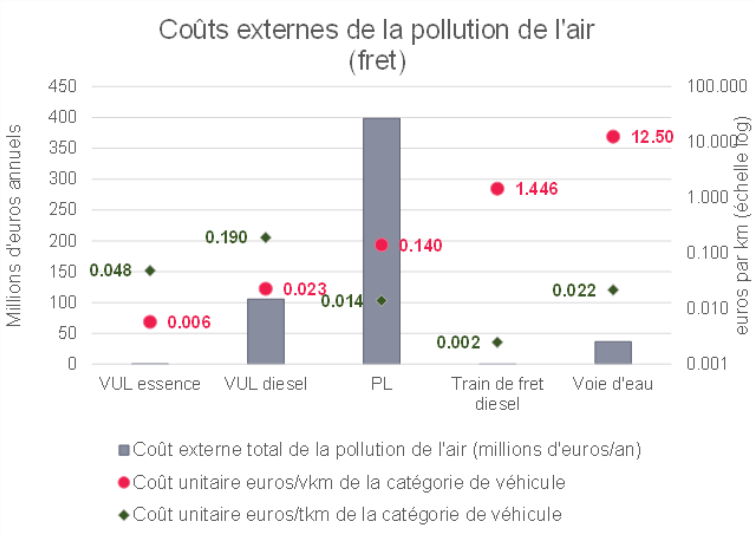


Figure 16 - Coûts externes du bruits (Fret)

4.4. Changement climatique

Le calcul du coût unitaire du changement climatique se fait directement par le produit du coût de la tonne de CO_2-équivalent retenu (119 $€_{2019}$) par le facteur d'émission pour chaque type de véhicule.

Tableau 664 - Coûts unitaires du changement climatique par type de véhicule

Catégorie de véhicule	Facteurs d'émission (kgCO2e/vkm)	Coût unitaire ($c€_{2019}$/vkm)	Coût unitaire ($c€_{2019}$/pkm)	Coût unitaire (c€/tkm)
VP essence	0,152	1,81	1,39	-
VP diesel	0,158	1,88	1,45	-
2RM	0,095	1,13	1,13	-
VUL essence	0,200	2,38	-	19,83
VUL diesel	0,240	2,86	-	23,80
PL	0,745	8,87	-	0,89
TC routiers	détaillé	détaillé	détaillé	-
Train de passagers ligne non-électrifiée	-	53,5	0,565	-
Train de fret ligne non-électrifiée	-	134	-	0,23
Navigation intérieure	-	184	-	0.32

Pour les TC routiers, nous reprenons les données fournies par l'AOT (Tableau 35), qui permettent de détailler par type de service.

Tableau 67 - Calcul des coûts unitaires du changement climatique pour les TC routiers

TC	Express	Urbain	Autres
Facteurs d'émission (kg CO2e/vkm)	1,0	1,0	1,3
Coût unitaire c€$_{2019}$/vkm	12	12	15
Coût unitaire c€$_{2019}$/pkm	0,38	0,38	0,50

Nous retenons ainsi pour les TC routier des valeurs unitaires de **13 c€/vkm** et **0,8 c€/pkm**.

Nous présentons les résultats obtenus sous forme des deux graphiques suivants (attention à l'échelle logarithmique sur la droite). Le transport routier est responsable de l'essentiel des émissions de gaz à effet de serre du transport de passager et de marchandises du fait à la fois de parts modales élevées et d'émissions unitaires élevés. Les véhicules à motorisation électrique (train, voiture) à émissions directes nulles ne sont pas présentés ici.

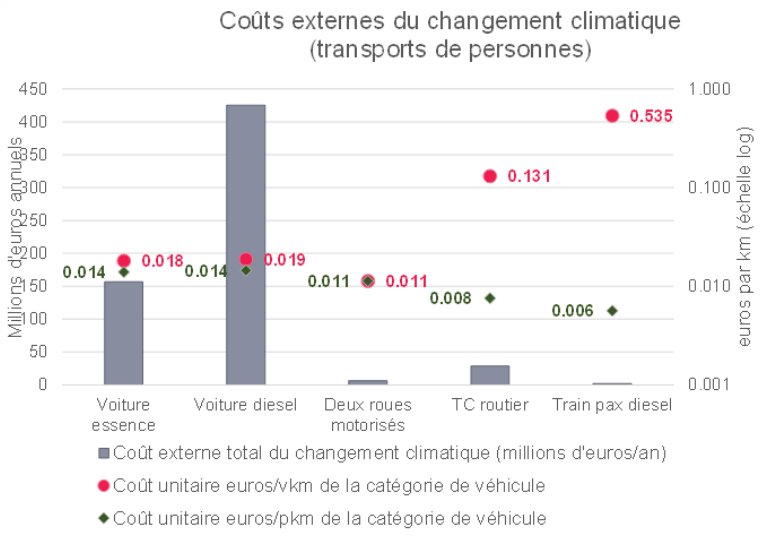


Figure 17- Coûts externes du changement climatique (transport de personnes)

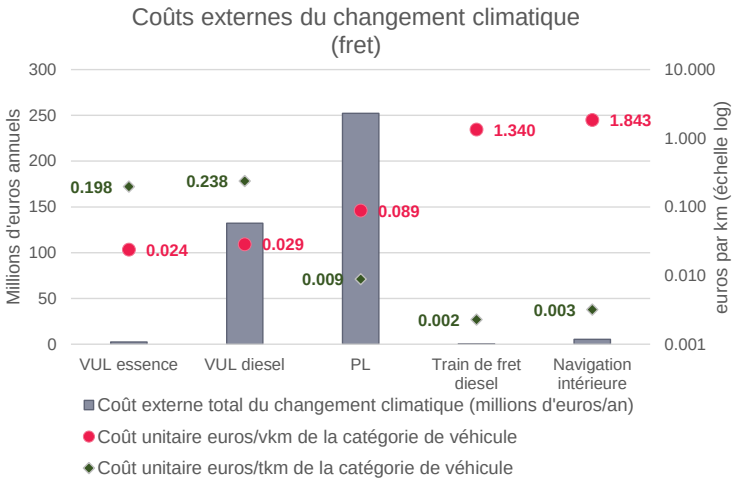


Figure 17- Coûts externes du changement climatique (fret)

4.5. Effet de coupure

Les coûts externes totaux de l'effet de coupure attribués à chaque catégorie de véhicule sont calculés en section 3.5. Ils sont ensuite rapportés à la performance de transport (Tableau 58) de la catégorie correspondante. Les résultats de ces calculs fournissent les coûts unitaires indiqués dans le Tableau 686Tableau 61 pour le transport de voyageurs et dans le Tableau 697 pour le fret.

Tableau 68 - Coût externe unitaire de l'effet de coupure par type de véhicule dans le transport de voyageurs

Catégorie de véhicule	Coût externe total ($€_{2019}$/an)	Coût externe unitaire ($€_{2019}$/vkm)	Coût externe unitaire ($€_{2019}$/pkm)
VP	155 594 712	0,0050	0,0038
2RM	1 391 530	0,0025	0,0025
TC routiers	895 971	0,0099	0,0006
Train passagers	12 475 287	0,37	0,00009

Tableau 69 - Coût externe unitaire de l'effet de coupure par type de véhicule dans le fret

Catégorie de véhicule	Coût externe total ($€_{2019}$/an)	Coût externe unitaire ($€_{2019}$/vkm)	Coût externe unitaire ($€_{2019}$/tkm)
VUL	23 466 714	0,005	0,041
PL	28 204 261	0,01	0,0010
Train fret	1 381 993	0,37	0,0006
Navigation intérieure	0	0	0

La navigation intérieure se fait pour l'essentiel sur des cours d'eau naturels (Meuse, Sambre, Escaut) dont l'existence précédait l'homme et ne sont donc pas considérés comme des obstacles créés pour les activités de transport. Les canaux jouent quant à eux un rôle mineur et sont anciens. Nous n'avons donc pas retenu d'effet de coupure pour la navigation d'intérieure.

Nous présentons les résultats obtenus sous forme des deux graphiques suivants (attention à l'échelle logarithmique sur la droite). Les effets de coupure sont partagés entre les modes routiers et ferroviaires, le mode routier prépondérant engendrant un impact plus important en volume alors que le mode ferroviaire présente un impact plus important par véhicule.

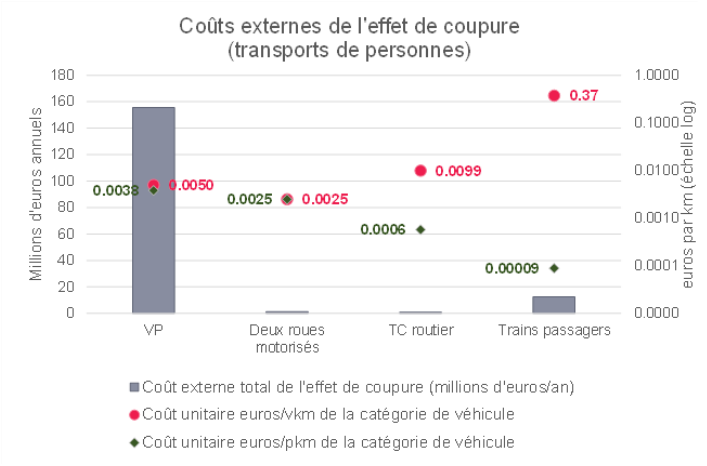


Figure 18- Coûts externes de l'effet de coupure (transport de personnes)

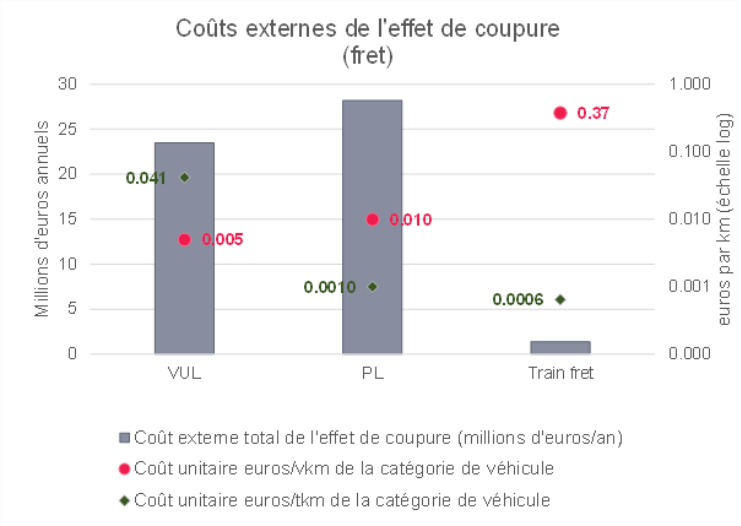


Figure 19- Coûts externes de l'effet de coupure (fret)

4.6. Effets amont et aval

Les effets amont à la consommation d'énergie par les véhicules sont calculés sur base des facteurs d'émissions indirectes (Tableau 41) et des facteurs de coût (Tableau 42). Les résultats sont présentés dans le Tableau 7078, pour le transport de personnes, et dans le Tableau 7179, pour le fret.

Tableau 70 – Coûts externes unitaires des effets amont pour le transport de personnes

Catégorie de véhicule	Consommation énergétique	Facteur de coût	Coût unitaire (c€$_{2019}$/vkm)	Coût unitaire (c€$_{2019}$/pkm)
VP essence	0,055 l/vkm	16,7 c€/l	0,91	0,70
VP diesel	0,050 l/vkm	16,4 c€/l	0,82	0,63
VP électrique	0,150 kWh/vkm	3,09 c€/kWh	0,46	0,36
2RM	0,050 l/vkm	16,7 c€/l	0,84	0,84
TC routiers	0,60 l/vkm	16,4 c€/l	9,9	0,6
Train diesel	1,72 l/vkm	16,4 c€/l	28,2	0,30

Train électrique	18,5 kWh/vkm	3,09 c€/kWh	57,2	0,51

Tableau 71 – Coûts externes unitaires des effets amont pour le fret

Catégorie de véhicule	Consommation énergétique	Facteur de coût	Coût unitaire (c€$_{2019}$/vkm)	Coût unitaire (c€$_{2019}$/tkm)
PL diesel	0,12 – 0,45 l/vkm	16,4 c€/l	4,7	0,47
VUL essence	0,072 l/vkm	16,7 c€/l	1,2	10,0
VUL diesel	0,076 l/vkm	16,4 c€/l	1,2	10,3
Train diesel	1,72 l/vkm	16,4 c€/l	28,2	0,05
Train électrique	18,5 kWh/vkm	3,09 c€/kWh	57,2	0,10
Navigation intérieure	5,3 l/vkm	16,4 c€/l	86,4	0,15

Nous présentons les résultats obtenus sous forme des deux graphiques suivants (attention à l'échelle logarithmique sur la droite).

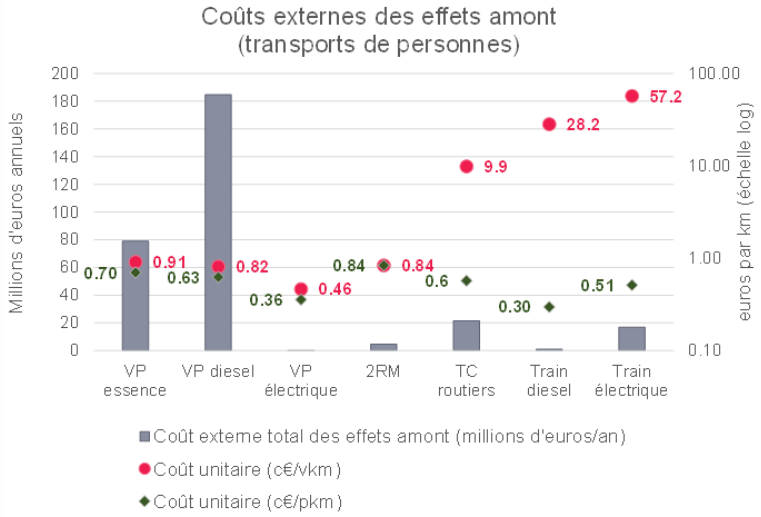


Figure 20- Coûts externes des effets amont et aval (transport de personnes)

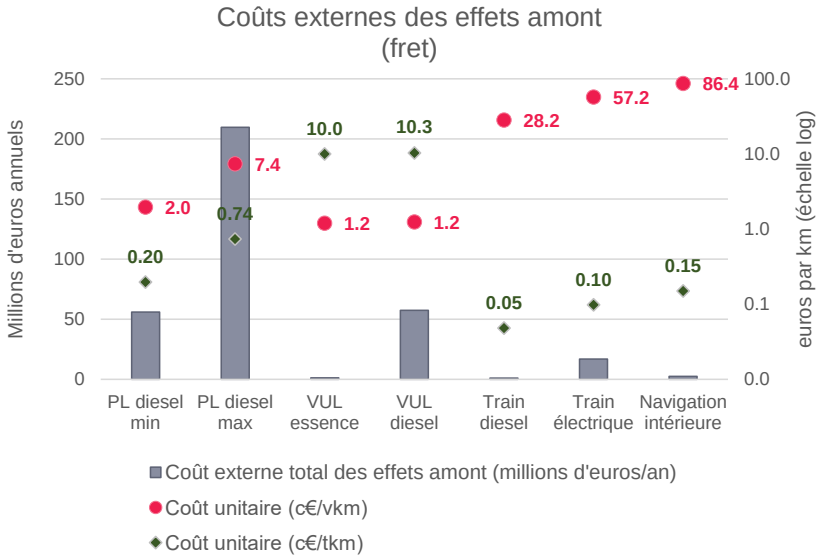


Figure 20- Coûts externes des effets amont et aval (fret)

5. PARTIE 4 : CALCUL DU COÛT EXTERNE UNITAIRE PAR TYPE DE VÉHICULE

Dans le chapitre précédent, nous avons calculé les coûts unitaires par type de coût, en les désagrégeant par type de véhicule. Maintenant, nous envisageons les coûts unitaires par type de véhicule, tous types de coûts confondus, de façon à avoir une vision plus complète des impacts de chacun mode et type véhicule et ainsi permettre à la région wallonne d'envisager les impacts respectifs des différentes catégories de véhicules.

Les tableaux ci-dessous indiquent ces coûts externes unitaires par type de véhicule pour le transport de personnes et pour le fret, par véhicule-kilomètre, personne-kilomètre et tonne-kilomètre. Nous insistons sur le fait que chaque mode à sa propre méthodologie pour estimer les véhicules-kilomètres. Il en va de même pour la conversion en voyageurs-kilomètres et tonnes-kilomètres à l'aide de diverses hypothèses et des infos pertinentes disponibles.

Tableau 72 - Coût externe unitaire des transports de voyageurs par type de véhicule (c€$_{2019}$/vkm)

Catégorie de véhicule	Accidents	Bruit	Pollution	Changement climatique	Effets de coupure	Effets en amont
VP essence	4,1	1,0	0,5	1,8	0,5	0,9
VP diesel	4,1	1,1	1,5	1,8	0,5	0,8
VP électrique	4,1	0,8	0,4	0,0	0,5	0,5
2RM	8,5	11,7	0,7	1,1	0,2	0,8
TC routiers	11,0	5,9	5,9	13,1	1,0	9,9
Train électrique	12,1	132,2	0,0	0,0	37,4	57,2
Train ligne non-électrifiée	12,1	101,0	134,5	24,0	37,4	28,2

Tableau 73 - Coût externe unitaire des transports de voyageurs par type de véhicule (c€$_{2019}$/pkm)

Catégorie de véhicule	Accidents	Bruit	Pollution	Changement climatique	Effets de coupure	Effets en amont
VP essence	3,2	0,8	0,3	1,4	0,4	0,7
VP diesel	3,2	0,9	1,1	1,4	0,4	0,6
VP électrique	3,2	0,6	0,3	0,0	0,4	0,4
2RM	8,5	11,7	0,7	1,1	0,2	0,8
TC routiers	0,6	0,3	0,3	0,8	0,1	0,6
Train électrique	0,1	1,2	0,0	0,0	0,3	0,5
Train ligne non-électrifiée	0,1	1,1	1,4	0,3	0,4	0,3

Tableau 74 - Coût externe unitaire des transports de marchandises par type de véhicule (c€$_{2019}$/vkm)

Catégorie de véhicule	Accidents	Bruit	Pollution	Changement climatique	Effets de coupure	Effets en amont
VUL essence	2,2	1,4	0,6	2,4	0,5	1,2
VUL diesel	2,2	1,4	2,3	2,9	0,5	1,2
PL (diesel)	6,7	8,8	14,0	8,9	1,0	4,7
Train électrique	3,3	447,9	0,0	0,0	37,4	57,2
Train ligne non-électrifiée	3,3	250,8	144,6	134,0	37,4	28,2
Navigation intérieure	0,0	0,0	1 250,0	184,0	0,0	171,9

Tableau 75 - Coût externe unitaire des transports de marchandises par type de véhicule (c€$_{2019}$/tkm)

Catégorie de véhicule	Accidents	Bruit	Pollution	Changement climatique	Effets de coupure	Effets en amont
VUL essence	18,6	11,4	4,8	19,8	4,1	10,0
VUL diesel	18,6	11,4	19,0	23,8	4,1	10,3
PL (diesel)	0,7	0,9	1,4	0,9	0,1	0,5
Train électrique	0,0	0,8	0,0	0,0	0,1	0,1
Train ligne non-électrifiée	0,0	0,4	0,2	0,2	0,1	0,0
Navigation intérieure	0,0	0,0	2,2	0,32	0,0	0,15

Nous aboutissons en conclusion de cette étude à une proposition de valeurs unitaires de référence pour les coûts externes des transports en Wallonie, telle que présentée dans le Tableau 76.

Tableau 76 - Coûts unitaires proposés par mode de transport et type de véhicule pour le transport de voyageurs et pour le fret

Catégorie de véhicule transport de voyageurs	Coût externe unitaire total (c€$_{2019}$/vkm)	Coût externe unitaire total (c€$_{2019}$/pkm)
VP essence	9	6,7
VP diesel	10	7,6
VP électrique	6	4,8
2RM	23	23,1
TC routiers	47	2,7
Train de passagers électrique	239	2,1
Train de passagers ligne non-électrifiée	337	3,6
Catégorie de véhicule fret	**Coût externe unitaire total (c€$_{2019}$/vkm)**	**Coût externe unitaire total (c€$_{2019}$/pkm)**
VUL essence	8	68,9
VUL diesel	10	87,4
PL (diesel)	44	4,4
Train de fret électrique	546	0,9
Train de fret ligne non-électrifiée	598	1,0
Navigation intérieure	1 606	2,8

Nous synthétisons les résultats obtenus sous forme de graphiques pour mieux comparer les modes et types de véhicules entre eux.

Les externalités par vkm font ressortir les modes les plus capacitaires qui du fait de leur seule masse génèrent davantage d'externalités négatives que les modes non-massifiés.

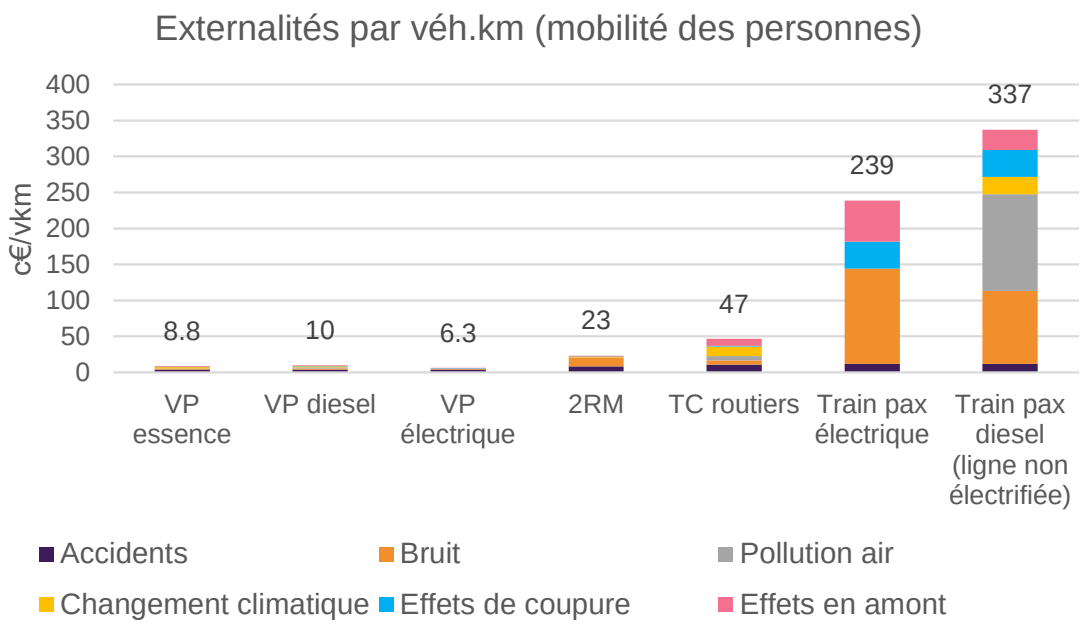


Figure 21- Coûts externes par vkm (transport de personnes)

Il faut s'intéresser aux impacts par pkm pour comparer les modes sur un pied d'égalité. Pour rappel, les taux de remplissage des véhicules moyens pour la région sont les suivants :

Tableau 8577 - : sources des hypothèses de remplissage des véhicules pour le transport de personnes

Type de véhicule	Pax/véh	Source
VP	1,3	BFP, 2021
2RM	1,0	CE, 2019
TC routiers	17,3	OTW, 2020
Train pax	111	Calculs STRATEC sur base d'INFRABEL

Tableau 8678 - sources des hypothèses de remplissage des véhicules pour le transport de marchandises

Type de véhicule	t/véh	Source
VUL	0,12	SPW d'après BFP (0.119t/PL, arrondi Stratec)
PL	10,0	DGITM FR (9,75t/PL, arrondi Stratec)
Train fret	584	Calculs STRATEC sur base d'INFRABEL
Voie d'eau	576	Rapport annuel 2018 DGO2

Pour le transport de personnes, ce sont deux deux-roues motorisés qui ressortent du fait de leur forte accidentologie, des importantes nuisances sonores qu'ils émettent et de leur faible capacité. Ce sont ensuite les différentes formes de VP qui présentent les plus fortes nuisances par personne, alors que les différents modes collectifs présentent un meilleur bilan socio-économique.

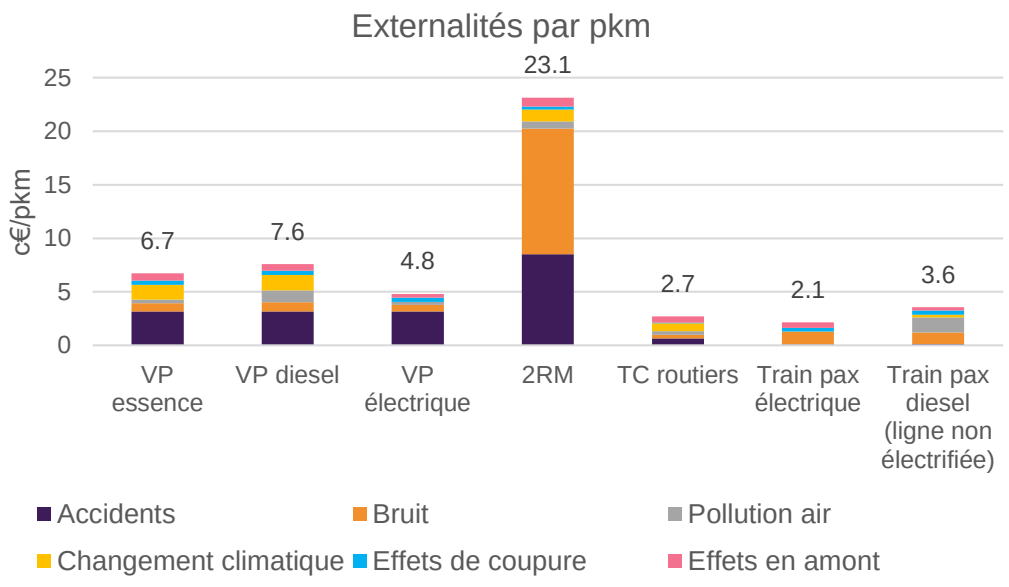


Figure 22- Coûts externes par pkm (transport de personnes)

Comme pour les voyageurs, les modes de transport de marchandises massifiés (train, navigation) présentent les plus forts impacts par vkm mais un meilleur bilan que le mode routier ramené à la tkm. On remarque cependant les niveaux élevés de pollution de l'air engendrés par la navigation intérieure, ce qui s'explique par une flotte relativement âgée et par la forte densité de population le long des fleuves, foyers historiques de peuplement de la Wallonie.

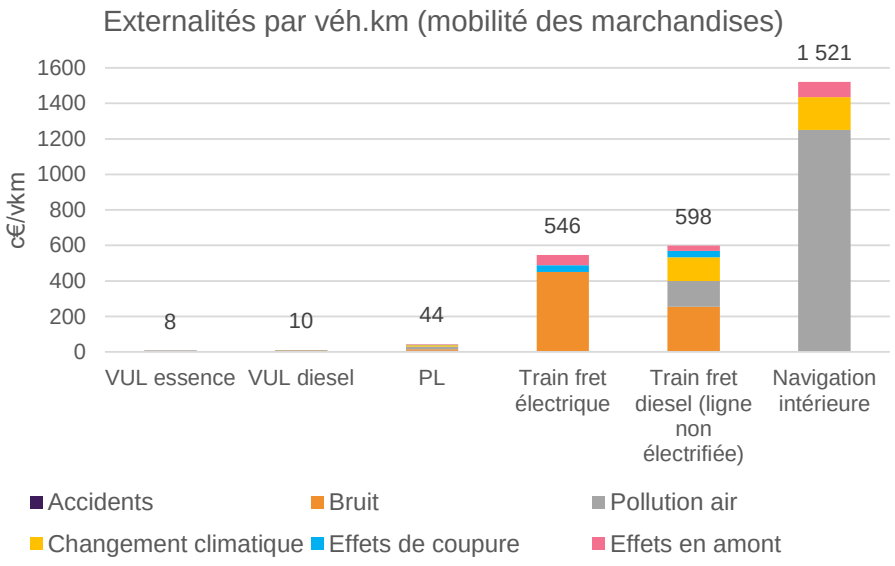


Figure 23- Coûts externes par vkm (fret)

Les externalités par tkm font ressortir les VUL, véhicules les moins capacitaires qui sont souvent peu remplis, avec seulement 117 kg/véhicule en moyenne. Il faut cependant relativiser cette estimation, car l'usage des VUL est très large et encore mal connu et les tournées de livraisons de petits volumes réalisées par VUL ne pourraient pas être réalisées par les autres modes présentés ici. Il est cependant certain que les VUL présentent un enjeu de taille en termes de réduction des externalités négatives des transports.

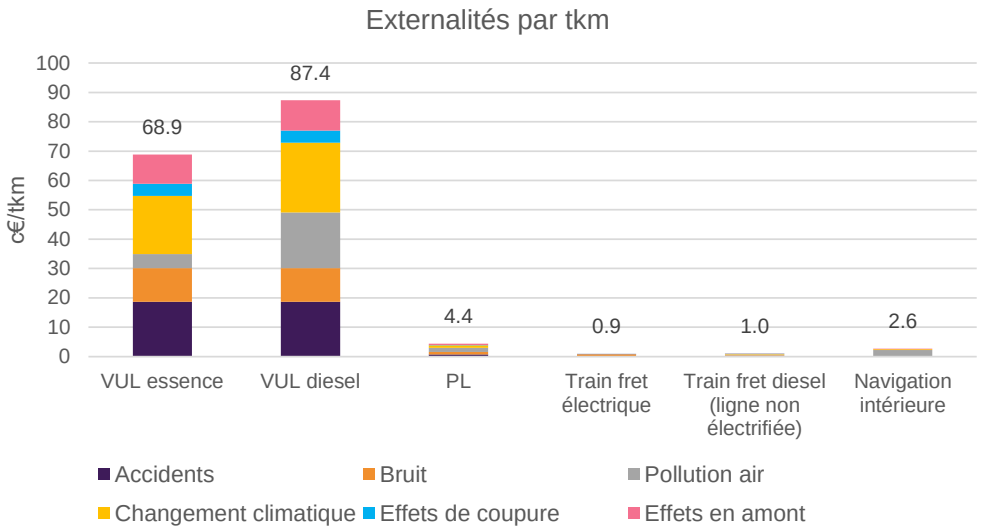


Figure 24- Coûts externes par tkm (transport de personnes)

En enlevant les VUL du graphique, il est possible de mieux visualiser les différences entres les autres modes de transport. Ce sont les PL qui présentent, parmi les quatre types de véhicules envisagés ici,

les externalités les plus élevées ramenées à la tonne. Ils sont suivis par la voie d'eau dont le bilan est pénalisé par une pollution de l'air importante. Le train présente le meilleur bilan.

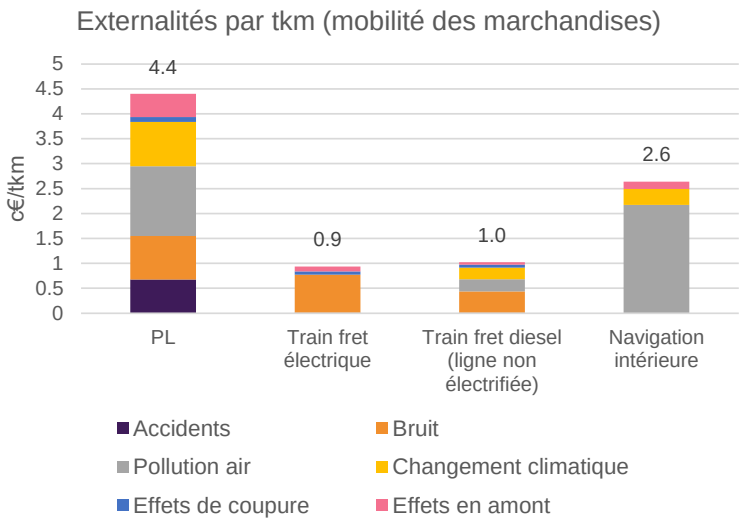


Figure 25- Coûts externes par tkm (fret)

Enfin, en ajoutant la congestion routière pour avoir une vision plus complète des impacts totaux des différents modes, nous arrivons à la Figure 26. Si un PL circulant à un moment donné sur le réseau a un impact deux fois plus fort qu'un véhicule léger, les PL sont nettement moins nombreux que les VL durant les périodes de pointe et contribuent donc proportionnellement moins à la congestion totale du réseau.

Notons que le transport ferroviaire présente également des enjeux de capacité, notamment au niveau des nœuds ferroviaires, mais que la gestion centralisée du réseau avec l'attribution de sillons ferroviaires permet d'optimiser la capacité du réseau. Si des incidents peuvent survenir et engendrer des retards, les causes et conséquences sont difficiles à estimer de manière systématique.

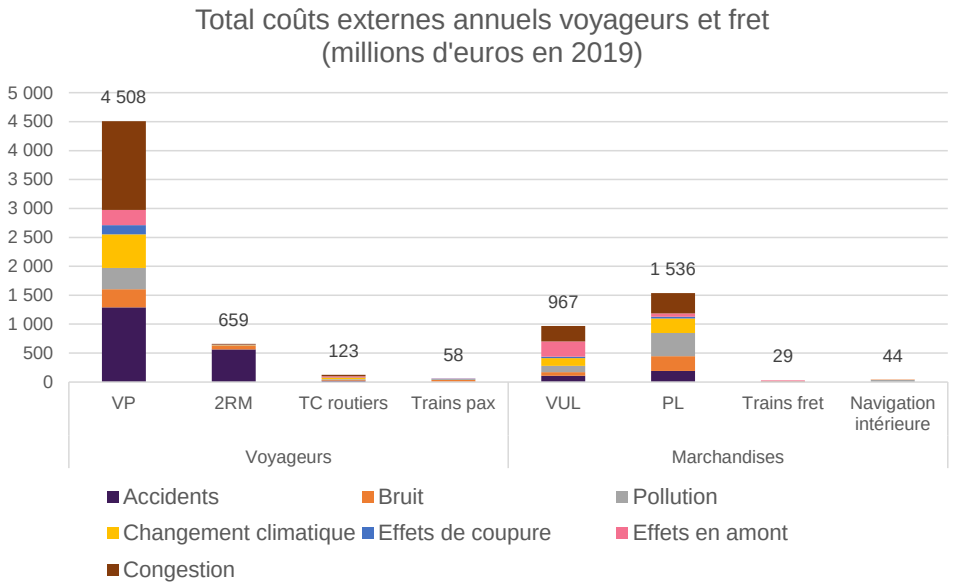


Figure 26- Coûts externes annuels totaux (transport de personnes et fret)

6. COMPARAISON DES COÛTS UNITAIRES RETENUES AVEC CELLES PROPOSÉES PAR LE CIEM (2010)

Le CIEM a proposé des coûts externes unitaires des transports en Wallonie lors d'une étude publiée en 2010. L'état de l'environnement wallon (EEW) l'utilise en tant que référence pour la région. Nous comparons les valeurs retenues dans la présente étude à celles publiées par l'état de l'EEW. Nous précisons que l'étude du CIEM n'évalue pas les coûts unitaires des émissions en amont.

Tableau 79 - Comparatif des coûts externes unitaires des transports de voyageurs (c€2019/pkm)

Catégorie de véhicule	Accidents		Bruit		Pollution de l'air	
	STRATEC	EEW	STRATEC	EEW	STRATEC	EEW
VP essence	3,16	3,91	0,77	0,59	0,35	0,33-1,01
VP diesel			0,87		1,12	
VP électrique			0,62		0,30	
2RM	8,51	23,90	11,73	1,92	0,68	0,41-1,15
TC routiers	0,64	0,30	0,34	0,15	0,34	0,17-0,48
Train diesel	0,11	0,11	1,19	0,44	0,00	nc
Train électrique	0,13	0,11	1,07	0,44	1,42	nc
Catégorie de véhicule	**Changement climatique**		**Effet de coupure**		**Effets en amont**	
	STRATEC	EEW	STRATEC	EEW	STRATEC	EEW
VP essence	1,39	0,30-2,11	0,38	0,41	0,70	nc
VP diesel	1,45				0,63	nc
VP électrique	0,00				0,36	nc
2RM	1,13	0,21-1,40	0,25	0,30	0,84	nc
TC routiers	0,76	0,14-1,00	0,06	0,10	0,57	nc
Train diesel	0,00	0,11-0,77	0,34	0,09	0,51	nc
Train électrique	0,25	0,11-0,77	0,39	0,09	0,30	nc

Tableau 88 - Comparatif des coûts externes unitaires des transports de marchandises (c€2019/tkm)

Catégorie de véhicule	Accidents		Bruit		Pollution de l'air	
	STRATEC	EEW	STRATEC	EEW	STRATEC	EEW
VUL essence	18,65	4,43	11,45	3,65	4,82	1,55-4,39
VUL diesel					18,99	
PL	0,67	0,61	0,88	0,55	1,40	0,49-1,34
Train fret électrique	0,01	0,00	0,77	0,36	0,00	nc
Train fret diesel (ligne non électrifiée)			0,43		0,25	nc
Navigation intérieure	0,00	0,00	0,00	0,00	2,17	nc
Catégorie de véhicule	**Changement climatique**		**Effet de coupure**		**Effets en amont**	
	STRATEC	EEW	STRATEC	EEW	STRATEC	EEW
VUL essence	19,83	0,98-6,89	4,13	1,54	10,00	nc
VUL diesel	23,80	0,98-6,89	4,13	1,54	10,33	nc
PL	0,89	0,22-1,54	0,10	0,29	0,47	nc
Train fret électrique	0,00	0,06-0,39	0,06	0,04	0,10	nc
Train fret diesel (ligne non électrifiée)	0,23	0,06-0,39	0,06	0,04	0,05	nc
Navigation intérieure	0,32	0,07-0,53	0,00	0,12	0,15	nc

Il convient de noter que quelques différences importantes existent. Quelques éléments de coûts calculés pour les TC routiers sont plus élevés que ceux indiqués par le EEW. Cela est notamment dû au taux de remplissage plus faible considéré par la présente étude, sur base de statistiques officielles plus récentes. Les TC permettent de réduire les externalités, par rapport au transport individuel, et le sera d'autant plus que les taux de remplissage seront importants.

Pour les VUL, une évaluation semblable est faite : les coûts sont plus élevés dans notre calcul du fait d' une hypothèse de taux de remplissage moyen plus faible (117kg/véhicule).

Pour les trains, nous notons des coûts calculés plus élevés pour le bruit et pour l'effet de coupure. Cela s'explique par le fait que les deux études utilisent des méthodes différentes, ainsi que par des différences sur les hypothèses de taux d'occupation des trains.

Pour les deux-roues motorisés, le coût d'accidents calculé est nettement inférieur au proposé, tandis que pour le coût du bruit, nous observons l'inverse. La différence en termes d'accidents est due au fait que le EEW utilise une valeur obtenue d'une étude européenne (INFRAS/IWW, 2004) qui fournit des coûts par véhicule-kilomètre par mode et catégorie de véhicule, tandis que la présente étude se base sur des statistiques wallonnes d'accidents. Au niveau du bruit, il s'agit encore une fois du fait que les études de référence utilisées proposent des valeurs nettement différentes. Nous avons adopté les

valeurs de référence proposées par la CE (2019), plus récente que celle utilisée par le CIEM (INFRAS/IWW, 2004).

Pour les PL, les coûts calculés du bruit et de la pollution de l'air s'avèrent supérieurs aux proposés par l'EEW. Pour le bruit, nous avons déjà cité la différence méthodologique qui peut expliquer ces différences. La différence pour la pollution de l'air peut être expliquée par une augmentation de la valeur de la vie considérée par les études de référence.

7. CONCLUSIONS

L'estimation des différents coûts externes des modes de transports en Région wallonne fournit en premier lieu les outils pour évaluer l'impact de projets ou de mesures de politique publique. Elle permet également de mieux comprendre les enjeux de ces politiques en matière de réduction des externalités négatives.

Alors que le mode routier constitue de loin la principale source de nuisances, la poursuite d'une politique volontariste visant à réduire l'accidentologie et les facteurs d'émissions des véhicules constitue la première voie à suivre pour réduire les externalités des transports. L'électrification attendue du parc de véhicules particulier devrait grandement contribuer à réduire les impacts de la circulation en termes d'émissions de gaz à effet de serre et de pollution de l'air, mais aussi, dans une moindre mesure, des nuisances sonores. Il s'agit alors de garantir une production électrique propre afin de réduire également à leur minimum les effets amonts. L'aménagement des infrastructures routières afin de réduire encore les risques d'accidents et les nuisances pour les riverains représente un moyen important de modérer les externalités du transport routier.

Le report modal constitue le deuxième enjeu important de politique de mobilité. Le potentiel paraît cependant plus important pour le transport de personnes que pour le transport de marchandises pour lequel la substituabilité d'un mode de transport à un autre est moindre, particulièrement en ce qui concerne les flux internes à la Région wallonne.

Le troisième levier de réduction des externalités négatives, sans doute le plus ambitieux, est une modération, voire une réduction de la demande par le biais de l'aménagement du territoire et d'une politique tarifaire et fiscale permettant aux utilisateurs des transports de tenir compte des coûts externes qu'ils engendrent.

8. ANNEXE A – VALEURS DE RÉFÉRENCE DE COÛTS EXTERNES UTILISÉES EN FLANDRE ET EN RÉGION BRUXELLES-CAPITALE

La Région Bruxelles-Capitale (RBC) compte un référentiel produit par Bruxelles Mobilité : le guide méthodologique pour les analyses socio-économiques des infrastructures de transport, mis à jour en 2016. Les coûts unitaires proposés dans cet ouvrage ont été repris et actualisés, et nous les synthétisons dans le Tableau 7970.

Tableau 88 - Coûts externes unitaires pour la RBC (source : calculs de STRATEC sur base de BM, 2016)

Type de coût	Véhicule	€2019/1000vkm
Changement climatique	Voiture	62
	Bus	351
	Rail	125
Pollution de l'air	Voiture	42
	Bus	167
	Rail	1562
Ecosystème	Voiture	87
	Bus	1014
	Rail	111
Bruit	Voiture	16
	Bus	144
	Rail	538
Accidents	Voiture	52

BM considère ici pour les accidents des coûts marginaux d'évitement d'un accident, et non pas une approche orientée sur la valeur de la vie. Pour les autres types de coûts, le rapport ne précise pas s'il s'agit de coûts moyens ou marginaux.

L'étude pour la Région Flamande, en revanche, se focalise sur les coûts externes marginaux. Nous les avons également actualisés pour les présenter dans le Tableau 80.

Tableau 80 - Coûts externes unitaires pour la Flandre (source : calculs de STRATEC sur base de TML, 2017)

Type de coût	Véhicule	€2019/100vkm
Environnement	Moto essence	4,8
	Voiture essence	5,2
	Voiture diesel	5,3
	Voiture CNG	4,8
	Voiture LPG	4,7
	Voiture électrique	0,4
	Voiture hybride	3,2
	VUL essence	7,6
	VUL diesel	8,4
	PL <12t	16,4

	PL >12t	24,0
	Bus	34,0
	Car	20,0
Accidents	Voiture	0,4
	Moto essence	4,1
	VUL	3,1
	PL	2,1
	Bus	2,3
Bruit	Routier	1,4
	Ferroviaire	63,1

Les approches de valuation des coûts externes employées par ces deux références sont différentes, ce qui empêche une comparaison directe entre les valeurs.

9. LEXIQUE

9.1. Termes de sciences économiques

Coût externe (ou externalité) : coût provoqué par une action entreprise par une personne ou ensemble de personnes mais qui doit être supporté par d'autres personnes, sans que cet effet ne soit pris en compte (internalisé) par l'émetteur.

Valeur tutélaire : montant officiellement recommandé pour chiffrer la valeur d'un bien non marchand

Utilité : Bien-être ou satisfaction éprouvée par l'obtention d'un bien ou service.

Année monétaire : année de référence des valeurs monétaires vis-à-vis de l'inflation. On parle d'euros d'une certaine année (€2019 par exemple).

9.2. Unités et abréviations

2RM : deux-roues motorisé

ADEME : agence de l'environnement et de la maîtrise de l'énergie de France

AOT : autorité organisatrice des transports

AwAC : Agence wallonne de l'air et du climat

AWSR : Agence Wallonne pour la Sécurité Routière

BFP : Bureau Fédéral du Plan

CIEM : Centre Interuniversitaire d'Etude de la Mobilité

DEFRA : Département de l'Environnement, de l'Alimentation et des Affaires rurales du gouvernement britanique

DGO 2 : Direction générale opérationnelle de la Mobilité et des Voies hydrauliques

Eurostat : direction générale de la Commission Européenne chargée de l'information statistique à l'échelle communautaire

EVP : équivalent voiture particulière

Febiac : Fédération Belge de l'Automobile et du Cycle

GES : gaz à effet de serre

GJ : gigajoule (unité d'énergie)

INFRABEL : gestionnaire de l'infrastructure ferroviaire belge

IWEPS : Institut wallon de l'évaluation, de la prospective et de la statistique

Ktoe : kilotonnes équivalentes de pétrole (unité d'énergie)

L_{den} : niveau sonore pondéré sur une journée pour prendre en compte l'intensification des effets du bruit sur les personnes pendant le soir et la nuit

MMA : masse maximale autorisée

SNCB : Société nationale des chemins de fer de Belgique

SPF : service public fédéral de Belgique

SPW : service public wallon

STATBEL : Direction générale Statistique de la Belgique

PIB : produit interne brut

pkm : passager-kilomètre

PKPL : péage kilométrique poids lourds

PL : Poids lourd

PNB : produit national brut

RBC : Région Bruxelles-Capitale

Sofico : Société de Financement Complémentaire des infrastructures du gouvernement wallon

TC : Transports en commun

TEC : nom commercial de l'opérateur de transport de Wallonie

tkm : Tonne-kilomètre

UE : Union Européenne

vkm : Véhicule-kilomètre

VL : Véhicule léger

VP : Voiture particulière

VUL : Véhicule utilitaire léger

VVS : valeur de la vie statistique