

Projet de Fin d'Études(PFE) 2022-2023

Quantification des émissions de gaz à effet de serre dans un espace urbain dans le but de le réduire

**Quantification des émissions de gaz à effet
de serre dans un espace urbain dans le but
de le réduire**

Fonction transport – Mobilité quotidienne

AVERTISSEMENT

Cette recherche a fait appel à des lectures, enquêtes et interviews. Tout emprunt à des contenus d'interviews, des écrits autres que strictement personnel, toute reproduction et citation, font systématiquement l'objet d'un référencement.

L'auteur (les auteurs) de cette recherche a (ont) signé une attestation sur l'honneur de non plagiat.

Formation par la recherche, Projet de Fin d'Etudes en génie de l'Aménagement et de l'Environnement

La formation au génie de l'aménagement et de l'environnement, assurée par le département aménagement et environnement de l'Ecole Polytechnique de l'Université de Tours, associe dans le champ de l'urbanisme, de l'aménagement des espaces fortement à faiblement anthropisés, l'acquisition de connaissances fondamentales, l'acquisition de techniques et de savoir faire, la formation à la pratique professionnelle et la formation par la recherche. Cette dernière ne vise pas à former les seuls futurs élèves désireux de prolonger leur formation par les études doctorales, mais tout en ouvrant à cette voie, elle vise tout d'abord à favoriser la capacité des futurs ingénieurs à :

- Accroître leurs compétences en matière de pratique professionnelle par la mobilisation de connaissances et de techniques, dont les fondements et contenus ont été explorés le plus finement possible afin d'en assurer une bonne maîtrise intellectuelle et pratique,
- Accroître la capacité des ingénieurs en génie de l'aménagement et de l'environnement à innover tant en matière de méthodes que d'outils, mobilisables pour affronter et résoudre les problèmes complexes posés par l'organisation et la gestion des espaces.

La formation par la recherche inclut un exercice individuel de recherche, le projet de fin d'études (P.F.E.), situé en dernière année de formation des élèves ingénieurs. Cet exercice correspond à un stage d'une durée minimum de trois mois, en laboratoire de recherche, principalement au sein de l'équipe Dynamiques et Actions Territoriales et Environnementales de l'UMR 7324 CITERES à laquelle appartiennent les enseignants-chercheurs du département aménagement.

Le travail de recherche, dont l'objectif de base est d'acquérir une compétence méthodologique en matière de recherche, doit répondre à l'un des deux grands objectifs :

- Développer toute ou partie d'une méthode ou d'un outil nouveau permettant le traitement innovant d'un problème d'aménagement
- Approfondir les connaissances de base pour mieux affronter une question complexe en matière d'aménagement.

Afin de valoriser ce travail de recherche nous avons décidé de mettre en ligne sur la base du Système Universitaire de Documentation (SUDOC), les mémoires à partir de la mention bien.

REMERCIEMENTS

Je tiens à remercier mon tuteur, M. Sébastien Larribe, Directeur du Département Aménagement et Environnement à Polytech Tours, pour m'avoir encadré et orienté pendant toute la durée de ce projet.

SOMMAIRE

Introduction.....	8
1) Modèle théorique	10
1.1 Objectif de l’outil développé	10
1.2 Périmètre de la quantification	10
1.3 Méthodologie	11
1.4 Les différents leviers d’actions.....	13
2) Quantification des émissions de GES pour Métropole Tours	16
2.1 Territorial	16
2.2 Résultat :	19
2.3 Incertitude et discussion sur données utilisées	19
Incertitude des données utilisées.....	19
Discussion sur le périmètre d’étude liées au données EMC ²	20
Discussion et conclusion	21
Bibliographie	23

Introduction

Le gouvernement français a mis en œuvre de nombreuses actions visant à réduire les émissions sur son territoire en réaction à la crise environnementale actuelle. Il a instauré par la loi du 17 août 2015, relative à la transition énergétique pour la croissance verte, la stratégie nationale bas-carbone (SNBC), qui constitue avec le Plan national d'adaptation au changement climatique, des documents de planification et de programmation ayant des incidences significatives sur les émissions de gaz à effet de serre (documents de politiques sectorielles et de planifications territoriales). (Gouvernement, Loi de transition énergétique pour la croissance verte, s.d)

Le Plan climat présenté en juillet 2017 a comme objectif d'accélérer la mise en œuvre de l'Accord de Paris en fixant pour cap l'atteinte de la neutralité carbone dès 2050 pour le territoire français.

La SNBC utilise une politique sectorielle en définissant les orientations et objectifs pour chacun d'entre eux. Le secteur des transports est un des secteurs d'activités identifié par la SNBC.

Depuis 1988, le secteur des transports est le secteur le plus émetteur de gaz à effet de serre. En 2020, 113,6 millions de tonnes équivalent CO₂ (Mt CO₂ eq) ont été émises, soit 28,7 % des émissions nationales de GES, une contribution relativement moins forte qu'en 2019 où ils en représentaient 31,1 %.

L'objectif de la SNBC pour 2030 est de réduire de 28% les émissions de GES par rapport à 2015 et d'avoir une décarbonation complète de ce secteur à l'horizon 2050.

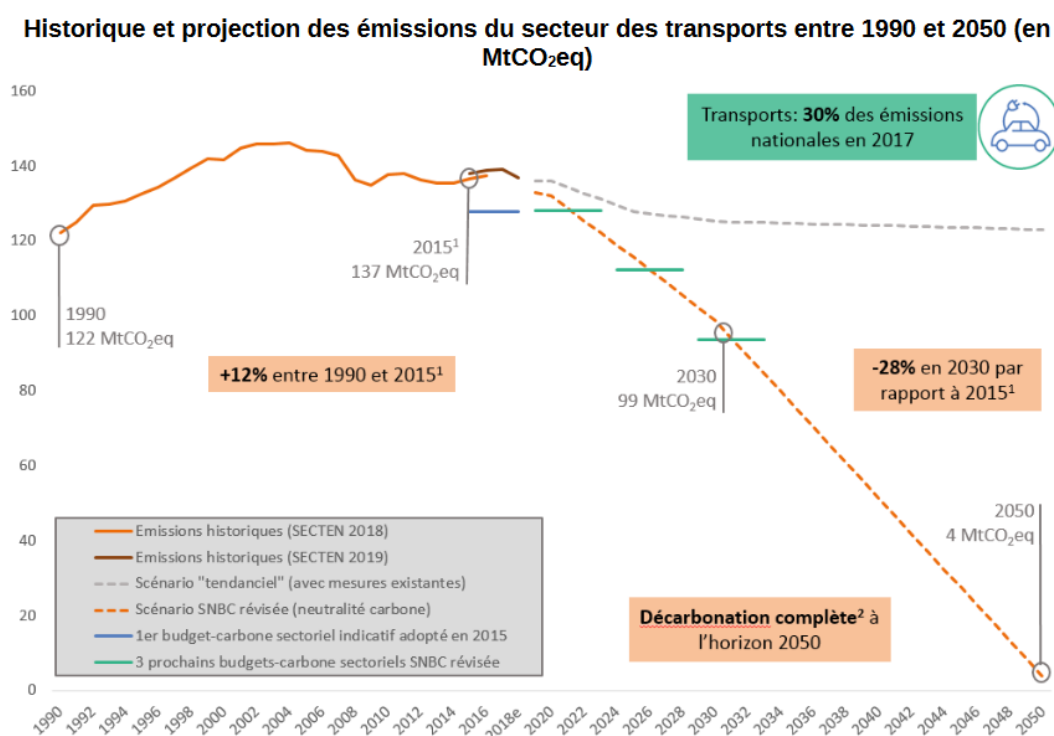


Figure 1 : Historique et projection des émissions du secteur des transports entre 1990 et 2050 (en MtCO₂eq) (Source : SNBC)

Le but de ce projet de fin d'étude est de développer un outil permettant la quantification des émissions de GES d'un espace urbain ou métropolitain défini. Il pourra simuler des actions entraînant un changement de pratiques afin de visualiser l'impact GES de ces dernières. Dans le cadre de ce PFE, le périmètre d'étude est la métropole de Tours. Le modèle peut cependant s'appliquer à n'importe quel espace urbain.

Ce PFE s'inscrit dans un projet sur le long terme. Les différents travaux des étudiants réalisés au cours des années auront pour but de s'imbriquer afin de produire une quantification des émissions de GES sur le territoire de Tours Val-de-Loire Métropole. Un premier travail a été réalisé par une étudiante sur la fonction urbaine résidentielle.

Ce travail portera sur la fonction des transports et plus spécifiquement sur les déplacements quotidiens.

1) Modèle théorique

1.1 Objectif de l'outil développé

Le but de ce projet de fin d'étude est de développer un outil permettant la quantification des émissions de GES d'un espace urbain ou métropolitain défini. Il pourra simuler des actions entraînant un changement de pratiques afin de visualiser l'impact GES de ces dernières. Dans le cadre de ce PFE, le périmètre d'étude est la métropole de Tours. Le modèle peut cependant s'appliquer à n'importe quel espace urbain.

Les collectivités, les entreprises et les acteurs locaux manquent d'outils opérationnels pour mettre en place des actions concrètes. Ils ont besoins d'outil de ce type pour réaliser des actions de transformation de leurs territoires dans l'objectif d'une diminution des émissions carbone. La quantification et la territorialisation des émissions de GES vont leur permettre d'identifier les postes les plus émetteurs et de prioriser des leviers d'actions concrets menant à cet objectif. Les actions menées seront mises dans l'outil développer afin de simuler les impacts des choix et changements effectués. La centralisation des données au sein d'un outil unique doit être fait selon une démarche définie préalablement (sectorielle, fonctionnelle) afin d'obtenir ce caractère opérationnel.

1.2 Périmètre de la quantification

Ce PFE s'inscrit dans un projet sur le long terme. Les différents travaux des étudiants réalisés au cours des années auront pour but de s'imbriquer afin de produire une quantification des émissions de GES sur le territoire de Tours Val-de-Loire Métropole.

Un premier projet de fin d'étude délivré en 2022 par une étudiante transcrit une vision générale des différents enjeux et fonctions urbaines à prendre en compte pour une simulation complète des émissions GES du territoire. 5 fonctions urbaines (postes émetteurs) avaient été identifiées : résidentielle, économique, transport, politique et culturelle.

L'approche fonctionnelle permet de « mieux coller à la réalité », de se concentrer sur les spécificités du territoire concerné contrairement à l'approche sectorielle utilisée par la SNBC (selon les secteurs d'activité qui composent l'économie).

Elle a décidé de travailler sur la fonction résidentielle au détriment du secteur du logement afin d'élargir le sujet à l'ensemble des problématiques liées au logement. Elle a ensuite choisi de se focaliser sur les problématiques liées à l'énergie. Les autres thématiques liées à la fonction résidentielle n'ont pas été étudié dans ce travail.

Pour ce projet de fin d'étude, j'ai décidé de travailler sur la fonction des transports. Ce poste émetteur prend en compte le transport de personne mais pas le transport de marchandises. Le fret appartient à la fonction économique afin de mettre en avant les raisons de ses émissions et par conséquent les leviers d'actions. La fonction transport prend en compte tous les motifs de déplacements et tous les modes de transport. Les postes émetteurs de la fonction transport sont de plusieurs natures. Le périmètre d'étude des postes émetteur a été élargi par rapport à celui du secteur des transports :

- Emissions en amont
 - Industrie automobile et industrie transport : production de matériaux, fabrication de véhicules
 - Industrie génie civil : production d'infrastructures (routes, rails,...)
 - Production d'énergie et acheminement de l'énergie nécessaire aux véhicules
- Emission liées à l'usage
 - Combustion du carburant
 - Consommation d'énergie des infrastructures

- Emission liées au secteur des services
 - Exploitation des transports en commun (maintenance et réparation des flots de véhicules, gestion des lignes, maintenance des structures)
 - Maintenance des véhicules
- Emission en aval
 - Fin de vie des véhicules

Plus spécifiquement le travail de ce PFE portera sur la mobilité quotidienne. La mobilité quotidienne correspond à l'ensemble des déplacements réalisés par les résidents en France dans un rayon de 100 km. Les modes de transports pris en compte dans l'étude seront exclusivement routiers et ferroviaires.

1.3 Méthodologie

L'outil opérationnel peut être résumé par un logigramme. Sa finalité est l'émission annuelle de CO2 (en tCO2e/an) des mobilités quotidiennes d'un espace urbain. L'outil va calculer les émissions de GES de chaque mode de transport en fonction du type de carburant du véhicule. Dans un premier temps, l'outil va calculer les émissions journalières puis annuelles de chaque mode de transport selon les différents types de carburant. Il va ensuite calculer les émissions annuelles selon les différents modes de transport avant d'arriver au calcul de la finalité. Tous ces calculs sont possibles grâce aux facteurs d'émissions de chaque type de véhicule (ex : Voiture électrique, Voiture diesel, Autobus au gaz,...) et du nombre de kilomètres qu'ils parcourent quotidiennement.

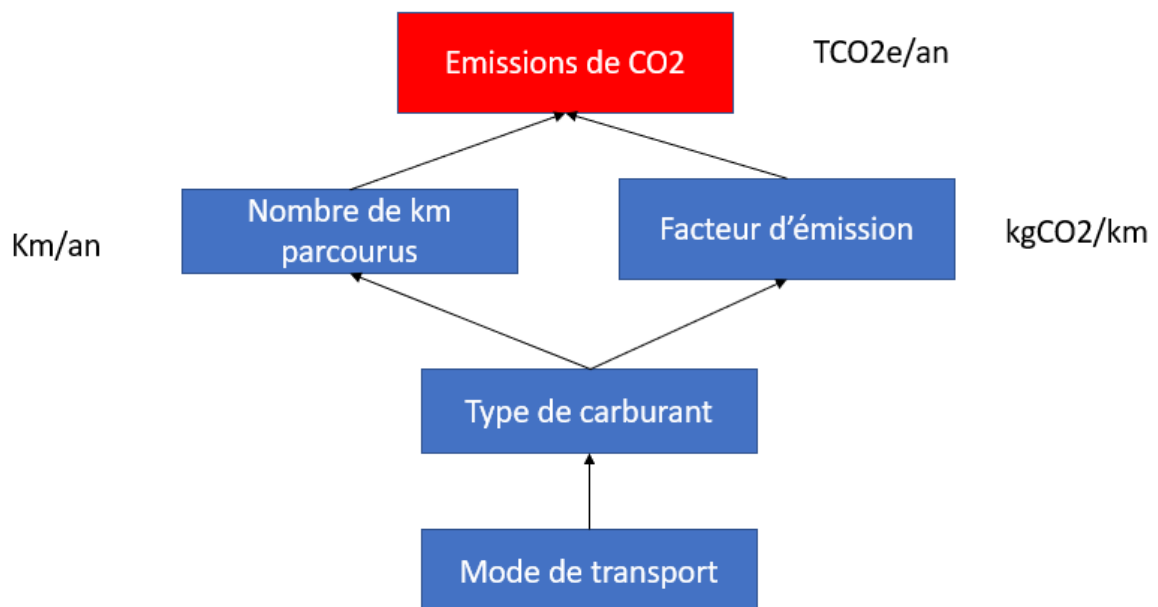


Figure 2 : Logigramme résumant la méthodologie

La quantification de l'impact carbone d'une action se fait par comparaison entre un scénario de référence et scénario contenant l'action/changement de comportement. (Méthode QuantiGES, Quantifier l'impact GES d'une action de réduction des émissions)

Notre outil sera divisé en deux parties. Dans la première partie, les données pour la situation actuelle de la métropole étudiée seront insérées (scénario de référence). Dans la deuxième partie de l'outil, les données pour une situation test pourront être insérées. L'utilisateur de l'outil peut rentrer le nombre de kilomètres générés sur une journée type par les déplacements quotidiens, la part de kilomètres effectués par chaque mode de transport ainsi que la répartition du parc pour chaque mode de transport (part des différents types de motorisation).

Cet outil permettra une maximisation du caractère opérationnel de la situation en déterminant le poids que possèdent les différents postes émetteurs et de voir l'impact GES concret des actions mises en place.

Il peut quantifier et territorialiser les émissions GES de tous les types de déplacements quotidiens de personnes, qu'ils soient routier ou ferroviaire. Il est transposable à tous les espaces urbains français et à toutes les échelles: établissement, entreprise, quartier, ville, métropole, aire urbaine.

Tous les motifs de déplacements peuvent être pris en compte.

Dans un premier temps, la réalisation de ce travail de quantification et de territorialisation nécessite l'obtention de données relatives à notre territoire d'étude. Avec toutes les données disponibles, il est nécessaire d'obtenir le nombre de km parcourus par chacun des modes de transport différencié selon le type de carburant sur un temps donné. Ces données obtenues seront alors associées à un facteur d'émissions (en gCO₂/km) permettant de calculer son équivalent carbone. Ces différents facteurs d'émission sont disponibles dans la Base Carbone de l'ADEME pour chaque mode de transport et pour chaque type de motorisation. (ADEME - Site Bilans GES, s. d.)

Ces différents facteurs d'émission sont disponibles dans la Base Carbone de l'ADEME pour chaque mode de transport et pour chaque type de motorisation. Ils sont le résultat d'une addition entre des facteurs liés au carburant utilisé avec les émissions de combustion (directes) et les émissions du carburant en amont (indirectes). (ADEME - Site Bilans GES, s. d.)

Pour exemple, selon la Base carbone de l'Ademe : le facteur d'émission d'une voiture essence sur des trajets de type courte distance (1,4 passager) est de 0,175 kgCO₂e/passager.km avec 0,0256 kgCO₂e/passager.km pour la fabrication, 0,027 kgCO₂e/passager.km pour le poste amont (carburant) et 0,122 kgCO₂e/passager.km pour la combustion du carburant.

Le cycle de vie n'est pas pris totalement en compte avec ce facteur d'émissions. La maintenance (uniquement pièces de maintenance, prise en compte de l'énergie pour la réparation, maintenance préventive ou curative, etc.) ainsi que la fin de vie des véhicules n'en font pas partie. Les impacts des infrastructures (la construction, l'opération liée principalement à la consommation d'énergie des infrastructures et la maintenance) ne sont pas pris en compte également.

Pour préciser, la phase de fonctionnement correspond à la combustion de la source d'énergie (carburants).

La phase amont correspond aux activités mises en œuvre afin que le moyen de transport dispose de sa source d'énergie. Pour l'électricité, il s'agit de l'extraction du combustible utilisé dans la centrale, de son transport et des émissions liées à son utilisation dans la centrale électrique. Dans le cas du pétrole, il peut s'agir de l'extraction, de son raffinage et de sa distribution. Pour l'électricité, il s'agit de l'extraction du combustible utilisé dans la centrale, de son transport et des émissions liées à son utilisation dans la centrale électrique. (Info GES - Info GES des prestations de transport, s.d)

Pour donner un exemple, les facteurs d'émission pour l'essence automobile E 85 sont de 1,01 kg de CO₂ e par litre pour la phase amont et de 0,67 kg de CO₂ e par litre pour la phase de fonctionnement. Pour un litre de E85, les émissions sont égales à 1,01 + 0,67 = 1,68 kg de CO₂ e. ((Info GES - Info GES des prestation de transport, s.d))

Pour le poste combustion du carburant, les émissions de CO₂ d'un passager par type de transport (en gCO₂/km) est exprimé de la manière suivante :

$$\frac{\Sigma \text{ consommation d'un carburant} \times \text{facteur émission de ce carburant}}{\Sigma \text{ passager.kilomètres}}$$

Une fois ce facteur d'émission récupéré, le travail consiste à multiplier ce facteur, additionné à celui du poste amont (carburant) et de la fabrication, par le nombre de kilomètres annuels parcourus dans l'espace urbain identifié afin de déterminer les émissions émises par ce mode de transport. On utilise donc la formule suivante :

Emission d'un mode de transport (en gCO₂e/km) = distance parcourue x facteur d'émission CO₂ d'un voyageur par type de transport (gCO₂/km).

1.4 Les différents leviers d'actions

Plusieurs leviers d'actions ont été promulgués par la SNBC pour le secteur des transports et par le Shift Project dans un projet sur les mobilités quotidiennes dans le cadre d'un plan de transformation de l'économie en faveur du climat et de la résilience. Ces leviers permettent de réduire ou d'éviter des émissions de GES. D'autres leviers viennent se rajouter à ces derniers afin de relever tous les objectifs de réductions des émissions de la fonction des transports.

Les leviers ci-dessous peuvent être modélisés dans l'outil afin de simuler de potentiels actions pour les élus et les collectivités.

- Emissions en amont
 - 1) L'industrie automobile, transport et génie civil
 - Favoriser des énergies décarbonnées
 - Recyclage des matériaux
 - 2) Emission liées à l'énergie
 - Production d'énergie décarbonnée
- Emissions liées au fonctionnement
 - 1) Combustion du carburant :
 - Le report modal vers des modes plus sobre en carbone :
 - Développement des modes actifs et des transports en commun
 - Développement d'infrastructures supports des modes actifs
 - Création de services dédiés
 - 2) Amélioration des performances énergétique :
 - Fixer des objectifs pour les nouveaux véhicules en terme d'efficacité énergétique et de décarbonations en privilégiant une approche en cycle de vie
 - Retirer les véhicules ayant le plus d'impact sur la pollution atmosphérique
 - 3) Décarbonation de l'énergie consommé :
 - Fixer des objectifs en terme de décarbonations en privilégiant une approche proche en cycle de vie

- Retirer les véhicules ayant le plus d'impact sur la pollution atmosphérique
- Etablir une trajectoire d'évolution des flottes, fin de vente de véhicule légers neufs utilisant des énergies fossiles en 2040, objectif de 100% de vente de véhicules particuliers électriques neufs à partir de 2040

Changement de comportement

- Réduction des vitesses autorisées
- Réduction des distances parcourues
- Réduction de l'autosolisme, développer le covoiturage

1) Consommation d'énergie des infrastructures Favoriser des énergie décarbonnées

- Emission liées au secteur des services

1) Exploitation des transports en commun (maintenance et réparation des flots de véhicules, gestion des lignes, maintenance des structures), maintenance des véhicules :

Utiliser des matériaux recyclables
Favoriser des énergies décarbonnées pour la réparation

- Emission en aval

Fin de vie des véhicules
Recycler au maximum les matériaux

Les leviers de réduction des émissions de GES sont aujourd'hui bien identifiés. Cependant la sélection des actions pertinentes restent une difficulté. Une priorisation des actions doit être mis en place (abandon de solution peu efficace, renforcement de celles performantes) afin de d'obtenir un plan d'action efficace. Pour réaliser cette priorisation, il est nécessaire de passer par un travail de quantification et de territorialisation de ces émissions. ([guide_impact_ges__final_2022.pdf](#))

L'outil va pouvoir comparer la situation actuelle de l'espace urbain étudié avec un scénario test contenant un changement de pratique pour chacun des leviers identifiés. L'outil va calculer l'écart relatif entre les deux et estimer un ordre de grandeur du levier dans un travail de priorisation de ces derniers.

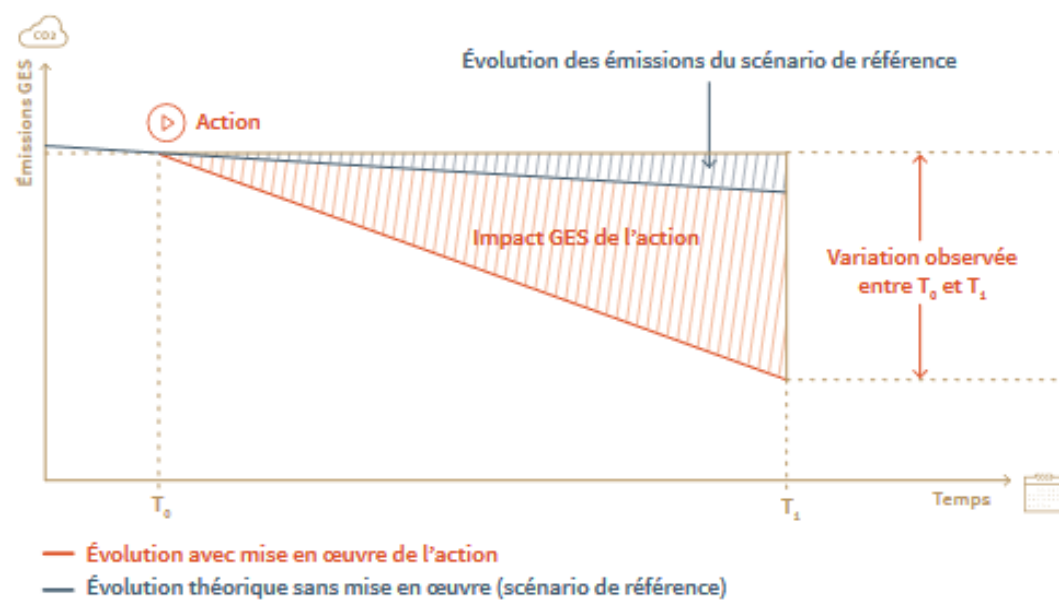


Figure 3 : Impact GES d'une action (Source : Ademe)

2) Quantification des émissions de GES pour Métropole Tours

2.1 Collecte de données, hypothèses

Après avoir construit l'outil opérationnel, le travail consiste à quantifier et territorialiser les émissions annuelles de CO₂ des déplacements quotidiens sur notre périmètre d'étude : Tours Val-de-Loire Métropole. La quantification de l'impact carbone d'une action se fait par comparaison entre une quantification de référence et une quantification contenant l'action. Ce travail va nous servir de scénario référence afin d'évaluer l'impact des actions et changements de comportement.

L'objectif est de produire une description précise des deux scénarios afin que les données relatives au scénario de référence d'une part et celles au scénario avec action d'autre part, permettent de décrire de la façon la plus fidèle et précise l'évolution quantifiée des émissions de GES du scénario correspondant.

L'Enquête Mobilité Certifiée Cerema (abrégée EMC²) est une enquête sur la mobilité des habitants sur un territoire donné suivant une méthodologie labellisée au niveau national. Elle fournit une photographie des déplacements quotidiens des habitants sur une journée de semaine type. Elle est un outil d'aide à la décision de projet de mobilités pour les acteurs du territoire.

Une EMC² sur les mobilités quotidiennes a été menée par le Syndicat des Mobilités et le SMAT sur la totalité du département d'Indre-et-Loire. L'enquête propose différents périmètres d'analyse dont Tours Métropole. La collecte des données a eu lieu entre janvier et mai 2019. Dans cette enquête, tous les motifs de déplacement ont été pris en compte afin d'avoir une meilleure vision des déplacements quotidiens durant une journée type à l'échelle de la métropole : les motifs liés au travail, à la formation, aux loisirs et à la visite, aux achats, aux démarches, et aux accompagnements. (Tours Métropole Val de Loire | EMC² de Touraine. (s. d.)).

Parmi toutes les données disponibles, nous avons pu obtenir le nombre total de km parcourus en une journée type par les habitants de la métropole ainsi que la par modale et la répartition des distances parcourues par les habitants de Tours Métropoles en fonction des différentes catégories de modes de transport. Afin de simplifier l'analyse, EMC² a agrégé les modes de transport en plusieurs catégories.

L'étude de ces déplacements se fait sur le territoire du département. Les kilomètres parcourus par les habitants selon les catégories de mode de transport sont seulement ceux réalisés sur le territoire d'Indre-et-Loire (aire de l'enquête). Par exemple, pour un déplacement entre Tours et Le Mans, seuls les kilomètres parcourus dans le département sont pris en compte).

Les distances parcourues résultent des flux de déplacements des habitants de Tours Métropole Val de Loire étudiés. Ils sont de trois natures différentes (EMC² de Touraine - Tours Métropole Val de Loire |, s. d.)

:

- Les flux interne ne prennent en compte que les déplacements effectués au sein du territoire (91% des déplacements effectués)
- Les flux d'échange concernent les déplacements dont seule l'origine ou la destination est située sur le territoire (7% des déplacements effectués)
- Les flux externe concernent les déplacements dont ni l'origine ni la destination ne sont situées sur le territoire (2% des déplacements effectués)

Les flux réalisés par des visiteurs de la Métropole de Tours (personnes non résidente de cet EPCI) sont étudiés dans l'enquête mais ne sont pas pris en compte dans le calcul des distances parcourues.

J'ai travaillé selon les catégories de transport suivantes :

Marche
Vélo : Vélo et Vélo à assistance électrique
Deux roues motorisées : Cyclomoteur, Moto légère, Moto lourde, Trottinette électrique
Voiture
TC urbains : Tramway, Métro, Autobus
TC Interurbain : Autocar, TER
Autres TC : TGV, Intercités

Une partie du travail a ensuite été de désagréger les différentes catégories selon les différents modes de transport. Ils sont à leur tour divisés selon le type de carburant/motorisation afin d'avoir la part modale et le nombre de km parcourus pour chacun d'entre eux. La dernière donnée récupérée va permettre de calculer les émissions quotidiennes pour chaque type de véhicule en le multipliant par leur facteur d'émission respective.

Ce résultat est multiplié par 226, le nombre de jours travaillés en moyenne (251 jours ouvrés-25 jours de congés) sur l'année 2019 (année de l'enquête) du fait que les données sont statiques et représentent une journée de la semaine type (jour de la semaine).

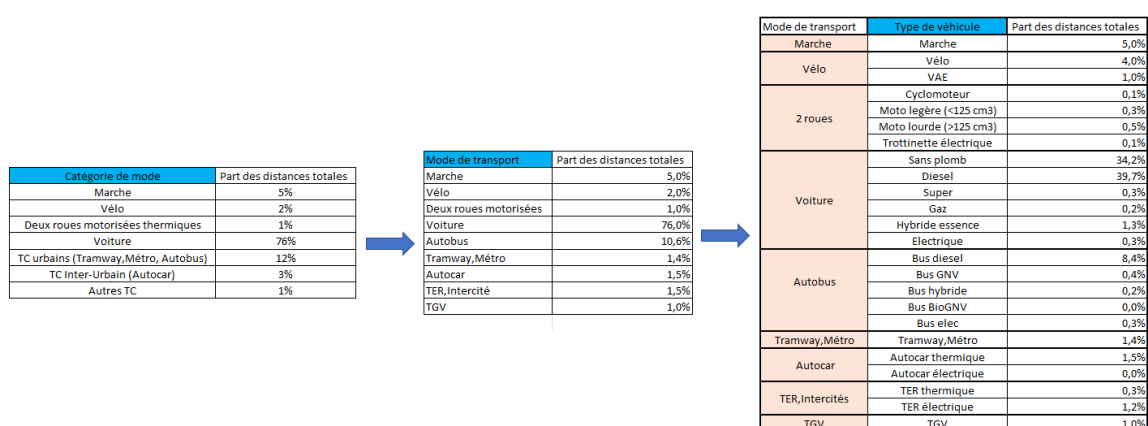


Figure 4 : Désagrégation des catégories de modes pour les parts de distances parcourues

Pour réaliser cette désagrégation, plusieurs hypothèses ont été prises.

Pour la catégorie deux roues motorisées, une hypothèse a été prise. La trottinette électrique représente 10% de la part modale de cette catégorie mais seulement 5% des distances parcourues. Cet écart entre les deux est dû aux distances moyennes de trajet de cette catégorie (5 km). Un utilisateur d'un deux roues thermique parcourt plus de distance à chaque trajet qu'un utilisateur de trottinette électrique.

Pour le reste les données étaient disponibles sur l'Observatoire national interministériel de la sécurité routière. Pour une agglomération de plus de 100 000 habitants, le parc de 2 roues motorisées est composé à 12% de cyclomoteur, à 31% de moto légère (<125 cm3) et à 57% de Moto lourde (>125 cm3).

(Observatoire national interministériel de la sécurité routière - Le parc deux-roues motorisés des ménages (s. d.).

Pour les voitures, la répartition du parc automobile était disponible dans les données fournies par l'EMC². On émet l'hypothèse que la part modale de chaque type de véhicule est égale à la part de kilomètres parcourus (pas de trajet plus long pour un type de véhicules).

Pour la catégorie Transport Collectifs Inter-Urbains, le parc de Fil Bleu est composé de 21 tramways et de 208 bus en service : 188 bus Diesel, 4 hybrides diesel, 7 électriques et 9 au gaz (GNC/GNV). (Fil Bleu - TC Infos. (s. d.) La répartition de la fréquentation annuelle du réseau Fil Bleu par type de ligne est de 45% pour le tramway et 55% pour les autobus. Un usager parcourt en moyenne sur un trajet la même distance en bus et en tramway. La part de distance parcourue est égale à celle de la part modale.

On émet la même hypothèse que pour la catégorie voiture : tous les bus parcourent autant de kilomètres. (Fil Bleu - TC Infos. (s. d.)

Pour la catégorie vélo, la répartition de la part modale et des distances par courues est la même : 80% pour le vélo classique et 20% pour le VAE.

Dans la catégorie Transport en commun interurbain (Autocar, TER) ainsi que dans celle Autre transport en commun (TGV, Intercité), aucunes données n'étaient disponibles sur les parts modales et la répartition kilométriques entre ces différents modes de transport. On a pris l'hypothèse que ces deux paramètres seraient de 50% pour les deux dans les deux cas.

Pour les facteurs d'émissions, certaines valeurs n'étaient pas disponibles sur la Base Carbone de l'Ademe.

Le facteur d'émission d'un vélo classique en gCO₂e/km n'est pas disponible sur la base carbone de l'ADEME. Cependant, les émissions carbone sont relativement bien documentées, notamment par les travaux de l'European Cyclists Federation.

La fabrication d'un vélo classique émet en moyenne 134 kg de CO₂ d'après l'ECF. En prenant pour hypothèse qu'un vélo à une durée de vie de 8 ans et que le cycliste parcourt 6 à 7 km par jour avec, soit 2400 km par an, l'impact carbone sera celui-ci : $134\text{kg} / (2400\text{km} \times 8) = 0,007 \text{ kg/km}$

Pour la catégorie de la voiture, nous avons affectés des facteurs d'émissions différents à chaque type de voiture (différents carburants). Plusieurs facteurs étaient possibles pour chacun des cas. Nous avons choisi les facteurs d'émission courte durée quand ils étaient disponibles. Ce facteur est le plus représentatif de la situation de la métropole de Tours. Ils représentent les facteurs pour des véhicules parcourant des courtes durées (déplacement moyen en voiture sur la métropole tourangelles est de 7,6 km) et à un taux de remplissage de 1,4 passagers (taux de remplissage de 1,34 pour la métropole. (ADEME - Site Bilans GES, s. d.)

Pour la voiture électrique nous avons choisi le facteur d'émission d'un modèle moyen : Cœur de gamme. Pour les voitures au gaz, on ne connaît pas la part de voitures GPL ou GPN. Une moyenne a été faite entre les deux facteurs (très proches, delta de 1,8%). (ADEME - Site Bilans GES, s. d.)

Pour les bus hybride diesel, le facteur d'émission est égal à la moyenne entre les deux types d'autocar hybride (parallèle et série). (ADEME - Site Bilans GES, s. d.)

Pour les autobus Autobus BioGNV, j'ai utilisé un document de l'AFGNV (Association Française gaz naturel véhicule). Un véhicule bioGNV affiche une réduction de 80% des émissions de CO₂ sur son cycle de vie complet par rapport au Diesel. Il présente ainsi un bilan Carbone aussi bon qu'un véhicule électrique.

(Mixenn - Les autobus urbains et le GNC : Retour sur l'étude « Panorama et évaluation des différentes filières d'autobus urbains - Ademe », 2019). Mixenn

2.2 Résultat :

L'objectif de cette simulation est de quantifier les émissions de CO₂ de la métropole de Tours afin d'en ressortir un ordre de grandeur. Elle a aussi pour but d'identifier les postes les plus émetteurs de CO₂.

En 2019 sur la métropole de Tours, 1 069 733 déplacements quotidiens ont été réalisés tous les jours de la semaine pour un total de 5 508 862 km parcourus. Les déplacements quotidiens des habitants de la métropole tourangelle en semaine ont émis 177 723 tCO₂e. Sur la métropole de Tours, le transport routier et non-routier avait émis 469 813 tCO₂e en 2019 (38% des émissions annuelles toutes fonctions confondues) (EMC² de Touraine - Tours Métropole Val de Loire |, s. d.).

En comparaison, 402 981 tCO₂e ont été émises par le transport routier et non-routier sur la métropole d'Orléans en 2018 (41,7% des ses émissions annuelles). Les ordres de grandeurs sont les mêmes pour ces deux métropoles. Les données sur les mobilités quotidiennes n'étaient pas disponibles. (Odace)

La mobilité quotidienne étudiée représente 37,8% des émissions liées aux transports et 14,4% des émissions annuelles de GES sur la métropole. Elle est un poste émetteur important à l'échelle de la métropole. Il est important d'identifier les postes les plus émetteurs afin de mettre en place des actions concrètes visant à réduire leurs émissions.

A la vue des résultats, le poste le plus émetteur est la voiture et en particulier la voiture thermique. Les déplacements quotidiens en voiture représentent 90,2% des émissions de GES pour une part modale de 51,6% et 76% des kilomètres parcourus.

De plus, on constate que les véhicules thermiques avec une part modale de 54,7 % émettent 98% des émissions de GES. Les véhicules hybrides ne sont pas comptés comme des véhicules thermiques.

Le deuxième poste le plus émetteur derrière la voiture est l'autobus. Avec 5,94% de part modale et 10,56% des kilomètres parcourus, il émet 7,2% des émissions de GES annuelle. Le parc d'autobus est composé à 94% d'autobus thermique.

Mode de transport	Part modale	Part des km parcourus	Part des émissions émises
Voiture	51,62%	76,00%	90,21%
Autobus	5,94%	10,56%	7,96%
Deux roues motorisées	0,81%	1,00%	0,95%
TER, Intercité	0,52%	1,50%	0,42%
Autocar	0,36%	1,50%	0,31%
Vélo	3,43%	2,00%	0,10%
Tramway, Métro	4,86%	1,44%	0,03%
TGV	0,16%	1,00%	0,02%
Marche	32,29%	5,00%	0,00%

Figure 5 : Part modale, part des kilomètres parcourus et part des émissions de GES émises annuellement par les différents modes de transport

2.3 Incertitude et discussion sur données utilisées

Incertitude des données utilisées

Les données utilisées afin de construire l'outil et la territorialisation sur la métropole de Tours viennent en majorité de l'enquête EMC² et de la Base Carbone de l'Ademe. L'enquête Mobilité

Certifiée Cerema est un sondage. Les résultats sont obtenus avec une incertitude liée à la taille des échantillons concernés (plus l'échantillon considéré est faible, plus forte sera l'incertitude associée au résultat). Au niveau du département, 8 700 personnes de 5 ans et plus ont été enquêtées pour un total de 6 400 ménages enquêtés. Ces personnes sont représentatives d'une population de 591 000 habitants et de 278 000 ménages. (EMC² de Touraine - Tours Métropole Val de Loire |, s. d.) De plus, les facteurs d'émission des différents types de véhicules calculés par l'Ademe possèdent tous 60 à 70% d'incertitude. (ADEME - Site Bilans GES, s. d.)

Des hypothèses ont été réalisées sur les parts modales et les distances parcourues de certains modes de transport. Ces hypothèses ont été formulées afin d'être au plus près de la réalité. Des approximations ont aussi été réalisées sur certains facteurs d'émission.

Discussion sur le périmètre d'étude liées aux données EMC²

Dans l'enquête EMC², l'étude est faite sur une journée type en semaine. Elle ne prend pas en compte les mobilités quotidiennes des habitants pendant les week end ainsi que ceux réalisés hors jours ouvrés.

Les kilomètres réalisés sur le département d'Indre et Loire hors de la métropole sont comptabilisés.

L'enquête ne prend pas aussi en compte les déplacements des visiteurs (non résidents). Au total, 1 275 000 déplacements sont effectués quotidiennement. 1 069 733 par les résidents de Tours Loire Métropole et 205 302 par des visiteurs. On ne prend pas en compte 16,2% des flux quotidiens effectués dans la métropole.

La mobilité quotidienne est définie comme l'ensemble des déplacements réalisés par les résidents en France dans un rayon de 100 km. Elle ne prend normalement pas en compte

L'enquête utilise une hiérarchie des modes, fixée par le CEREMA. Lorsqu'un déplacement combine plusieurs modes, un seul est retenu qu'importe la portion de déplacement réalisée avec tel ou tel mode.

Cette hiérarchie des modes entraîne une altération de la réalité.

Cette quantification de l'espace métropolitain tourangeau possède de nombreuses incertitudes. Elle ne donne pas un résultat précis des émissions de GES des mobilités quotidiennes annuelles mais permet d'avoir une vision et un ordre de grandeur de ces dernières.

Elle permet aussi de le comparer à des scénarios afin de voir les changements que peuvent entraîner certaines actions.

Discussion et conclusion

Les leviers de réduction des émissions de GES sont aujourd'hui bien identifiés par les collectivités. Cependant la sélection d'actions pertinentes reste une difficulté. Une priorisation des actions doit être mise en place (abandon de solution peu efficace, renforcement de celles performantes) afin d'obtenir un plan d'action efficace face aux objectifs de la SNBC pour 2050. Cette priorisation est nécessaire et réalisable pour les acteurs du territoire (collectivités, entreprises,...) avec l'outil développé et le travail de quantification et de territorialisation de ces émissions effectuées sur le territoire métropolitain de Tours.

Suite à la quantification des mobilités quotidiennes sur la métropole de Tours, des ordres de grandeur ont été dégagés pour les différents postes émetteurs liés à la phase amont et au fonctionnement des véhicules pour les déplacements quotidiens.

La mobilité quotidienne émet 14,4% des émissions de GES sur la métropole tourangelle.

Les déplacements en voiture et plus particulièrement en voiture thermique émettent annuellement 160 315 tCO₂e. Cela représente respectivement 90,2% et 88,3% du total d'émission annuelles pour des parts modales de 51,6 et 50,5 %. L'autobus est le deuxième mode le plus émetteur avec 14 145tCO₂e ce qui représente 8,0% des émissions totales.

Au vu de ces résultats, le report modal vers des modes plus sobres en carbone et la décarbonation de l'énergie consommé par les véhicules sont des leviers pertinents afin de réduire ces émissions de GES. Des actions concrètes doivent être mises en place par la métropole de Tours. Elles doivent être numérisées afin de maximiser le côté opérationnel de l'outil.

L'outil développé compare un scénario référence (situation actuelle) de l'espace urbain étudié avec un scénario test contenant un changement de pratique pour chacun des leviers identifiés. L'outil va calculer l'impact GES de ce changement et estimer un ordre de grandeur du levier dans un travail de priorisation de des actions. Cet outil de comparaison va aider les collectivités ou les entreprises à se décider afin d'orienter leur politique de réduction de GES de manière plus efficace. Elles peuvent définir plusieurs actions, les formuler numériquement et les simuler dans le logiciel. Ils pourront ensuite définir les actions à mettre en place en fonction des ordres de grandeur de leurs impacts GES.

Pour donner un exemple, un des actions pouvant être mise en place est le remplacement de certains bus diesel utilisé dans le réseau FIL Bleu par des autobus plus sobre en carbone. 45 autobus BioGnv viendront remplacer les autobus diesel.

Autobus	Situation actuelle - Part d'utilisation	Situation test - Part d'utilisation				
			Mode de transport	Type de véhicule	Référence tCO ₂ e/an emis	Test tCO ₂ e/an emis
Bus diesel	90,4%	68,8%	Autobus	Bus diesel	13392,22326	10194,04637
Bus GNV	1,9%	1,9%		Bus GNV	308,2014038	308,2014038
Bus hybride	3,4%	3,4%		Bus hybride	321,6646727	321,6646727
Bus BioGNV	0,0%	21,6%		Bus BioGNV	0	640,0912838
Bus elec	4,3%	4,3%		Bus elec	123,4449019	123,4449019
					14145,53424	11587,44863

Figure 6 : Impact GES du remplacement d'autobus diesel

Cette action permet la réduction des émissions de GES de 18,1 % pour la flotte d'autobus et de 1,4% les émissions annuelles des mobilités quotidiennes. Elle va éviter une production de 2 558 tCO₂e chaque année. Cette action peut être comparée à d'autres actions afin de prioriser ces dernières

L'outil permet aussi d'avoir une vision plus précise de ce qu'induisent les objectifs de la SNBC.
L'outil peut confirmer les ordres de grandeurs de ce levier par rapport aux objectifs de la SNBC.

Par ailleurs, l'outil ne prend pas en compte les évolutions de la demande de transport. D'après le scénario référence de la SNBC, la croissance du trafic de voyageurs tous modes confondus sera de 26 % entre 2015 et 2050 (en voyageurs-km) soit 4 points de moins que le scénario tendance actuel. L'outil ne prend pas en compte l'évolution de la demande de trafic ni celle de la population métropolitaine. Il considère que la demande de transport reste constante au cours du temps. Il ne prend également pas en compte le cycle de vie complet des véhicules.

Bibliographie

ADEME - Site Bilans GES. (s. d.). <https://bilans-ges.ademe.fr/fr/accueil/documentation-gene/index/page/Routier2>

Les autobus urbains et le GNC : Retour sur l'étude « Panorama et évaluation des différentes filières d'autobus urbains - Ademe ». (2019, juin 4). Mixenn. <https://mixenn.bzh/les-autobus-urbains-et-le-gnc-panorama-et-evaluation-des-differentes-filieres-dautobus-urbains-ademe/>

Données sur le parc automobile français au 1er janvier 2021. (s. d.). <https://www.statistiques.developpement-durable.gouv.fr/donnees-sur-le-parc-automobile-francais-au-1er-janvier-2021>

Émissions de gaz à effet de serre du transport. Chiffres clés transports 2022. (2022). Ministère de la transition écologique <https://www.statistiques.developpement-durable.gouv.fr/edition-numerique/chiffres-cles-transports-2022/19-emissions-de-gaz-a-effet-de-serre-du-transport.php>

Concertation Tramway. (s. d.). Mobilité Tours Métropole <http://www.mobilite.tours-metropole.fr/index.php?idtf=73>

TC Infos. (s. d.). Fil Bleu <https://tc-infos.fr/reseau/40>

Information GES des prestations de transport. (s. d.). Ministères Écologie Énergie Territoires. <https://www.ecologie.gouv.fr/information-ges-des-prestations-transport>

Le parc deux-roues motorisés des ménages | Observatoire national interministériel de la sécurité routière. (s. d.). <https://www.onisr.securite-routiere.gouv.fr/etudes-et-recherches/vehicules/parc-des-vehicules/le-parc-deux-roues-motorises-des-menages>

Stratégie Nationale Bas-Carbone (SNBC). (s. d.). Ministères Écologie Énergie Territoires. <https://www.ecologie.gouv.fr/strategie-nationale-bas-carbone-snbc>

Tours Métropole Val de Loire | EMC2 de Touraine. (s. d.).

https://emc2-touraine-mobilites.scan-datamining.com/la-mobilite-dans-les-epci/tours-metropole-val-de-loire?id=epci_01&type=depci

Stratégie nationale bas-carbone. (s. d.).

https://www.ecologie.gouv.fr/sites/default/files/19092_strategie-carbone-FR_oct-20.pdf

GUIDE POUR UNE MOBILITÉ QUOTIDIENNE BAS CARBONE. (s. d.). [The Shift Project.](#)

https://theshiftproject.org/wp-content/uploads/2021/11/TSP_Guide-mobilite-quotidienne_20211028_FINAL.pdf

Méthode QuantiGES Quantifier l'impact GES d'une action de réduction des émissions (s. d.). ADEME

https://librairie.ademe.fr/cadic/6768/guide_impact_ges_final_2022.pdf

Information GES des prestations de transport. (s. d.). Ministère de la Transition écologique.

https://www.ecologie.gouv.fr/sites/default/files/Info%20GES_Guide%20m%C3%A9thodo.pdf

Information sur la quantité de gaz à effet de serre émise à l'occasion d'une prestation de transport,

Méthodologie générale. (s. d.). SNCF.

https://medias.sncf.com/sncfcom/rse/Methodologie-generale_guide-information-CO2.pdf

La transition écologique et solidaire vers la neutralité carbone. (s. d.). European Commission.

https://www.ecologie.gouv.fr/sites/default/files/2020-03-25_MTES_SNBC2.pdf

Vision_globale_V1: Mobilité quotidienne. (s. d.). The Shift Project.

<https://theshiftproject.org/wp-content/uploads/2021/04/TSP-PTEF-V1-FL-Mobilite-Q.pdf>

Loi de transition énergétique pour la croissance verte, Gouvernement, (s.d)

<https://www.ecologie.gouv.fr/loi-transition-energetique-croissance-verte>

Gaz à Effet de Serre | ODACE. (s. d.). Odace.

<https://odace.ligair.fr/gaz-effet-de-serre>

Directeur.rice de recherche :

Sebastien Larribe

Mahé Portier
PFE/DAE5
RESEAU
2022-2023

Quantification des émissions de gaz à effet de serre dans un espace urbain dans le but de le réduire : Fonction transport – Mobilité quotidienne

Résumé :

Le but de ce projet de fin d'étude est de développer un outil permettant la quantification des émissions de GES d'un espace urbain ou métropolitain défini. Il pourra simuler des actions entraînant un changement de pratiques afin de visualiser le l'impact GES de ces dernières. Dans le cadre de ce PFE, le périmètre d'étude est la métropole de Tours. Le modèle peut cependant s'appliquer à n'importe quel espace urbain.

Les collectivités, les entreprises et les acteurs locaux manquent d'outils opérationnels pour mettre en place des actions concrètes. Ils ont besoins d'outil de ce type pour réaliser des actions de transformation de leurs territoires dans l'objectif d'une diminution des émissions de gaz à effet de serre.

**Mots Clés : Quantification, Territorialisation, Emission de gaz à effet de serre,
Fonction des transports, Mobilités quotidiennes, Stratégie National Bas-
Carbone**