



**GRENOBLEALPES  
MÉTROPOLE**

# **ZFE** 2023 Il est temps de changer d'ère !

Zone à Faibles Émissions - Mobilité

Zone à faibles émissions pour les voitures particulières et les deux-roues motorisés

## **Annexes techniques**

**Consultation réglementaire**

*Avril-Mai 2023*



## Sommaire

Contexte .....	3
Méthodologie mise en œuvre pour modéliser le parc de véhicule initial (2020) .....	3
Méthodologie mise en œuvre pour modéliser l'évolution prospective des parcs de véhicules .....	5
Méthodologie mise en œuvre pour modéliser l'impact de la ZFE sur les pratiques de mobilité .....	10
Méthodologie mise en œuvre pour évaluer les effets de la ZFE-m sur la qualité de l'air .....	18
Méthodologie de calcul des émissions de polluants.....	18
Méthodologie de modélisation des concentrations de polluants atmosphériques et calcul de l'exposition de la population.....	22

## Contexte

Ce document regroupe les annexes techniques détaillées des études réglementaires présentées dans le dossier de consultation réglementaire pour la mise en place de la zone à faibles émissions pour les voitures particulières et les deux-roues motorisés. Ces annexes apportent des compléments détaillés à la partie « 5. Le cadre méthodologique de l'évaluation des effets de la ZFE sur le parc de véhicules, les déplacements et la qualité de l'air » du dossier réglementaire mis en consultation en avril-mai 2023.

## Méthodologie mise en œuvre pour modéliser le parc de véhicule initial (2020)

Pour apprécier les impacts des ZFE-m sur la qualité de l'air et les pratiques de mobilité, il convient d'avoir une connaissance du parc automobile en circulation sur le territoire. Si les caractéristiques du parc automobile national français sont bien décrites, il n'en est généralement pas de même au niveau local.

### Méthodes de caractérisation du parc local

**Données du Système d'Immatriculation des Véhicules (SIV) :** Le Système d'immatriculation des véhicules (SIV) est un fichier national placé sous la responsabilité du Ministère de l'intérieur. Il sert à la gestion des certificats d'immatriculation (cartes grises) et des autres documents administratifs liés aux véhicules en circulation. Le SIV recense tous les véhicules immatriculés en France, qu'ils soient neufs (inscription lors de leur première mise en circulation), ou d'occasion (modification lors de leur première revente, à l'occasion d'un changement d'adresse ou de toute autre modification affectant le certificat d'immatriculation). En conformité avec la Directive Européenne 1999/37/CE du Conseil du 29 avril 1999 relative aux documents d'immatriculation des véhicules, le SIV recense l'ensemble des informations figurant sur le certificat d'immatriculation des véhicules. Ainsi, le fichier contient, entre autres, les données concernant le propriétaire du véhicule et les caractéristiques du véhicule lui-même, et notamment ses caractéristiques environnementales.

**Données du Répertoire Statistique des Véhicules Routiers (RSVERO) du SDES :** Les données du parc immatriculé fourni par le Service de la Donnée et des Études Statistiques (SDES) du Ministère de la Transition écologique et de la Cohésion des Territoires sont disponibles à l'échelle communale. Les données sont issues des immatriculations du **système d'immatriculation des véhicules (SIV)** et enrichies avec les données issues des contrôles techniques. Un véhicule est réputé en circulation s'il est en règle vis-à-vis du contrôle technique et si aucune opération indiquant une sortie de parc n'a été enregistrée par le SIV. Ce parc délivre le nombre de véhicules immatriculés à la commune, pour chaque catégorie, selon leur date d'immatriculation et leur motorisation.

### Parc de véhicules particuliers en 2020

Un parc de véhicules agrégé sur les 49 communes de la Métropole a ainsi été construit à partir des données d'immatriculation au 01/01/2020 (version SDES de mars 2021), avec un détail par vignette Crit'Air et énergie. Cette approche, bien que ne tenant pas compte des véhicules immatriculés en dehors de la Métropole mais amenés à circuler sur la Métropole, nous paraît toutefois plus robuste que le parc national CITEPA<sup>1</sup>, qui dans sa description, tient également compte des véhicules étrangers circulant dans notre pays qui concernent assez peu le territoire de GAM.

Ce parc local permet enfin d'identifier un nombre de véhicules métropolitains susceptibles de devoir changer lors d'une restriction de circulation, liée à la mise en place de la ZFE-m.

<sup>1</sup> Centre interprofessionnel technique d'études de la pollution atmosphérique

Chaque catégorie de véhicules décrite est ensuite affinée au moyen de la décomposition nationale CITEPA 2020, niveau de détail nécessaire pour le calcul des émissions. Par exemple les VP Crit'Air 2 diesel sont décomposés selon :

- Différentes normes : Euro 5, 6b, 6c, 6dTEMP ;
- Différentes cylindrées : <1,4 litres, 1,4-2 litres et > 2 litres.

### **Parc de deux-roues motorisés en 2020**

Il n'existe pas de données qui décrivent précisément les parcs statiques communaux de deux-roues motorisés. Toutefois, une étude de 2012 du SDES<sup>2</sup> renseigne sur un parc statique de 2RM décliné notamment par typologie de zone urbaine, par région, par motorisation et par carburant.

Grâce à des données INSEE qui associent à chaque commune une typologie d'aire urbaine et des données de population communales (INSEE 2017<sup>3</sup>), il est possible de calculer la part (en population) que représente chaque commune pour les différentes typologies, urbaines et régionale, et ainsi d'en déduire le parc statique de chaque commune. S'agissant d'un parc 2012, on projette ce parc en 2020 en s'appuyant sur l'évolution tendancielle des parcs 2RM nationaux du CITEPA entre 2012 et 2020 (Figure 1).

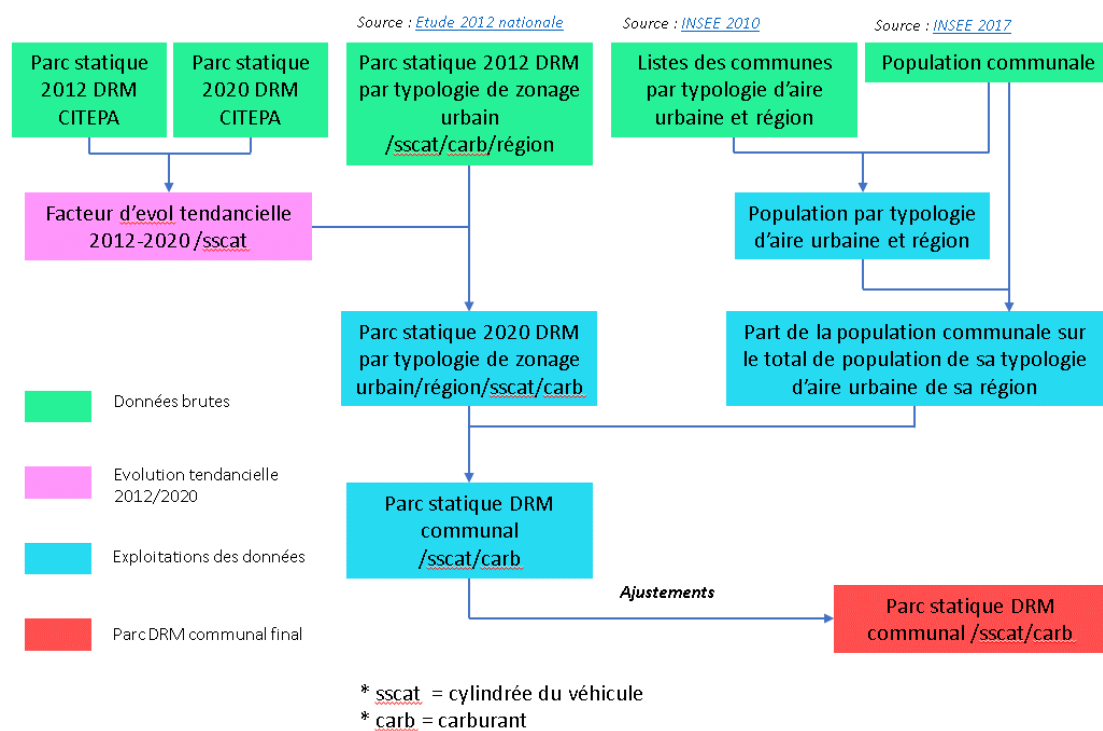


Figure 1 : Logigramme de calcul du parc communal deux-roues motorisés (Source : Atmo AuRA)

<sup>2</sup> <https://www.statistiques.developpement-durable.gouv.fr/enquete-sur-lutilisation-des-deux-roues-motorises-en-2012>

<sup>3</sup> <https://www.insee.fr/fr/statistiques/4265429?sommaire=426551>

## Méthodologie mise en œuvre pour modéliser l'évolution prospective des parcs de véhicules

### Scénario de référence (tendanciel)

L'évaluation des effets attendus de la réglementation est réalisée par comparaison avec un scénario « tendanciel » qui décrit les évolutions naturelles du parc en l'absence de restriction.

#### ➤ Parc tendanciel pour les véhicules particuliers

Le parc tendanciel pour les véhicules particuliers est construit à partir des données de parc du SDES, auxquelles sont appliquées les comportements « naturels » selon une méthodologie développée par le CITEPA<sup>4</sup> : renouvellement du parc de véhicules, achats de nouveaux véhicules, changements d'usages... Il intègre aussi des hypothèses sur les taux de disparition des véhicules par âge, résultats des comportements des acteurs (mise au rebut des véhicules, revente, remplacement).

Un parc tendanciel a tout d'abord été projeté jusqu'en 2030 sur la base d'absence de ZFE-m :

- Identification des véhicules qui sortent naturellement du parc : selon hypothèses nationales de durée de vie d'un véhicule particulier (distinction VP diesel et non diesel) ;
- Hypothèse : tous les véhicules qui sortent du parc sont renouvelés ;
- Hypothèses associées aux nouveaux véhicules :
  - La répartition par énergie est déduite par croisement entre les ventes 2020 iséroises de VP neufs tout en tenant compte de l'évolution nationale AME à la hausse entre 2020 et 2030 de la part de véhicules électriques ;
  - Progression de +2% par an de la part 2020 des VHR5 essence pour pouvoir respecter l'objectif de 17% de VHR en 2030 ;
  - La part des véhicules neufs 2020 GNV a été supposée constante sur la période 2020-2030 ;
  - La part des véhicules thermiques (essence et diesel) a été diminuée pour tenir compte de la progression des motorisations électriques et VHR.

La Figure 2 reprend les hypothèses ainsi retenues.

---

<sup>4</sup> Centre Interprofessionnel Technique d'Études de la Pollution Atmosphérique

<sup>5</sup> Véhicule Hybride Rechargeable

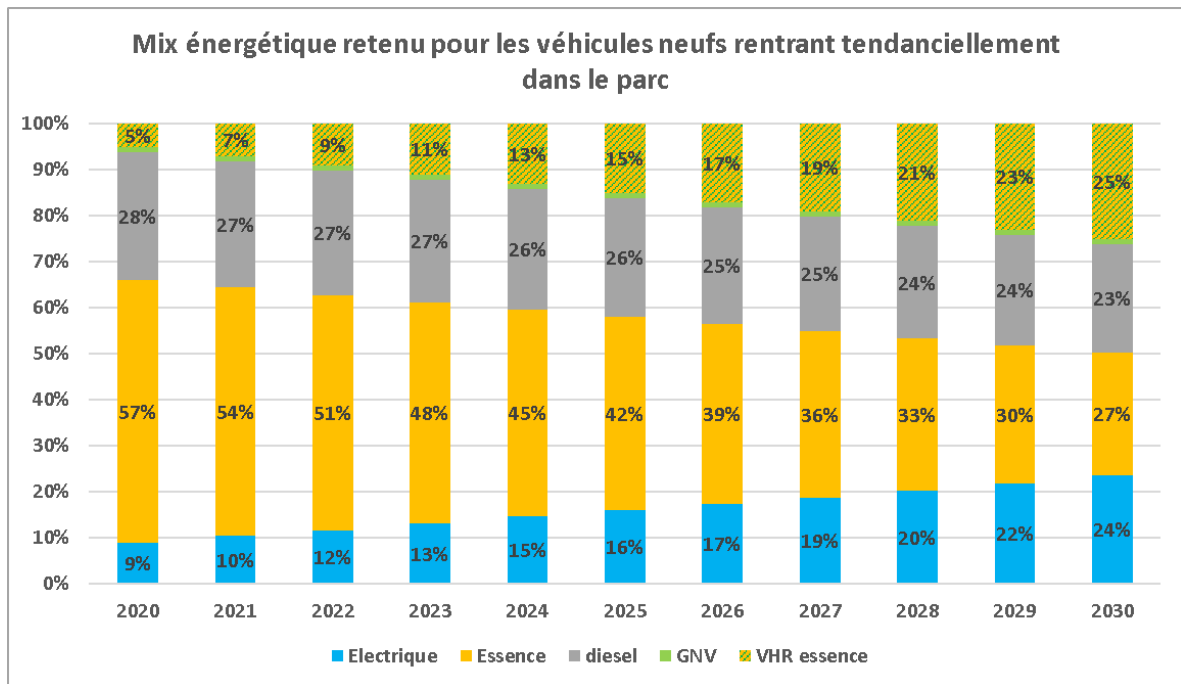


Figure 2 : Mix énergétique retenu pour les véhicules neufs rentrant tendanciellement dans le parc roulant

### ➤ Parc tendanciel pour les deux-roues motorisés

Comme pour les véhicules particuliers, un parc tendanciel a été projeté jusqu'en 2030 sur la base d'absence de ZFE :

- La sortie du parc des véhicules en fin de vie est déduite des courbes nationales de survie ;
- L'entrée des véhicules dans le parc est déterminée à partir des données du parc prospectif national AME ;
- Les hypothèses de renouvellement selon le type d'énergie sont indiquées dans la Figure 3.

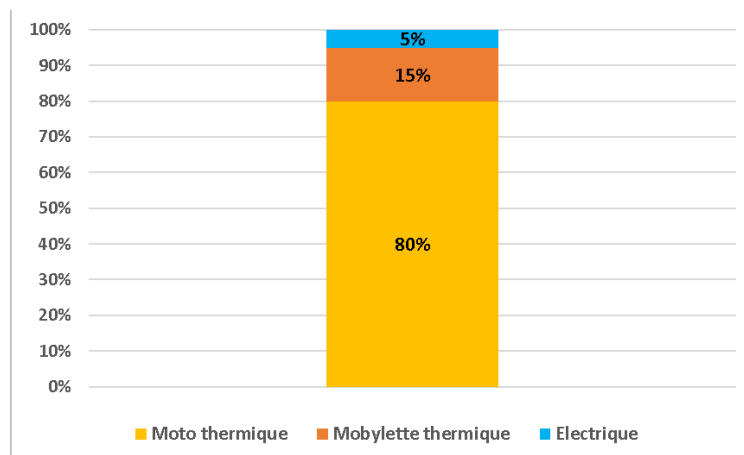


Figure 3 : Mix énergétique des deux-roues motorisés qui renouvellement tendanciellement

### Scénario « ZFE »

La ZFE-m sera mise en place avec différentes étapes d'interdiction de circulation des véhicules qui seront :

- En 2023 : interdiction des VP et 2RM possédant un CQA 5 ou non classés sur les 13 communes du périmètre en dehors des VRU et des voies exemptées ;

- En 2024 : interdiction des VP et 2RM CQA 4 sur les 13 communes du périmètre en dehors des VRU et des voies exemptées ;
- En 2025 : interdiction des VP et 2RM CQA 3 sur les 13 communes du périmètre en dehors des VRU et des voies exemptées.

#### ➤ Projection du parc de VP dans le scénario ZFE

En pratique, la mise en place d'une telle réglementation n'aura pas d'impact sur la mobilité des usagers disposants d'un véhicule autorisé.

Pour un usager disposant d'un véhicule non autorisé et devant se déplacer dans la ZFE, on distingue différentes réactions mutuellement exclusives (i.e. on travaille à somme constante) :

- Changer de véhicule pour faire le déplacement en voiture tout en respectant la réglementation. Il s'agit d'un renouvellement ;
- Changer de destination pour faire le déplacement vers un autre site qui n'est pas dans la ZFE : c'est une modification de la structure spatiale, aussi appelée distribution, qui présuppose que la destination peut changer, comme c'est le cas pour les déplacements dits non contraints, comme les achats par exemple ;
- Changer d'itinéraire pour éviter de passer par un secteur couvert par la ZFE ;
- Faire le déplacement en ne respectant pas la réglementation en vigueur et prendre le risque de payer une amende ;
- Changer de mode de déplacements, en laissant la voiture de côté. Il s'agit alors d'un report modal ;
- Annuler le déplacement (on parle aussi de désinduction de trafic).

A noter que le phénomène de démotorisation n'est pas propre à un seul changement de comportement, il peut par exemple accompagner un changement de mode ou une désinduction. Pour cette raison la démotorisation n'est pas directement considérée comme un changement de comportement.

L'usager est donc confronté à des choix variés et sa prise de décision finale est commandée par de nombreux facteurs (pouvoir d'achat, pratiques de déplacements, niveau de restriction, offre alternative, etc.).

Ces considérations permettent d'appréhender la ZFE et les contraintes qu'elle pose, non seulement comme un outil développé pour répondre à des préoccupations relatives à la pollution atmosphérique, mais également comme un levier de transformation des pratiques de mobilité des usagers.

Les hypothèses retenues quant aux choix réalisés par les propriétaires de véhicules impactés par la future réglementation sont les suivantes :

- Achat d'un véhicule conforme : Majoritairement, les personnes possédant un véhicule non autorisé vont changer de véhicules dans les délais prévus de la mise en œuvre (70% des cas).
- Changement de destination : Le changement de destination ne saurait être applicable à tous les motifs : pour les motifs obligés (travail, études), les alternatives pourront être soit la désinduction (télétravail) soit le changement de mode.
- Changement d'itinéraire : Le changement d'itinéraire concerne uniquement les déplacements de transit (par rapport à la ZFE, i.e. ni l'origine ni la destination ne sont dans la ZFE) dans la mesure où pour l'ensemble des autres flux (échanges et internes ZFE), il est indispensable pour le conducteur de pénétrer dans la ZFE.
- Fraude / non connaissance du dispositif : Pour maximiser l'impact estimé de la politique ZFE, il est supposé un taux de fraude de 0% ;
- Report modal : 3 véhicules sur 10 touchés par une interdiction de circuler dans la ZFE ne renouvellent pas leurs véhicules et leurs utilisateurs favorisent d'autres modes de déplacements ;
- Annuler un déplacement : La ZFE peut être un levier pour faire évoluer les pratiques professionnelles, susciter plus de télétravail notamment.



Ces hypothèses permettent d'évaluer la ZFE-m dans la trajectoire que l'on souhaite atteindre, c'est-à-dire maximiser ses effets.

Par ailleurs, un comportement d'anticipation qui s'applique aux deux scénarii prévoyant une interdiction des véhicules diesel : le pourcentage s'applique aux véhicules diesel qui rentrent tendanciellement dans le parc et qui seront conformes, de façon anticipée, à une motorisation autorisée à l'horizon 2030.

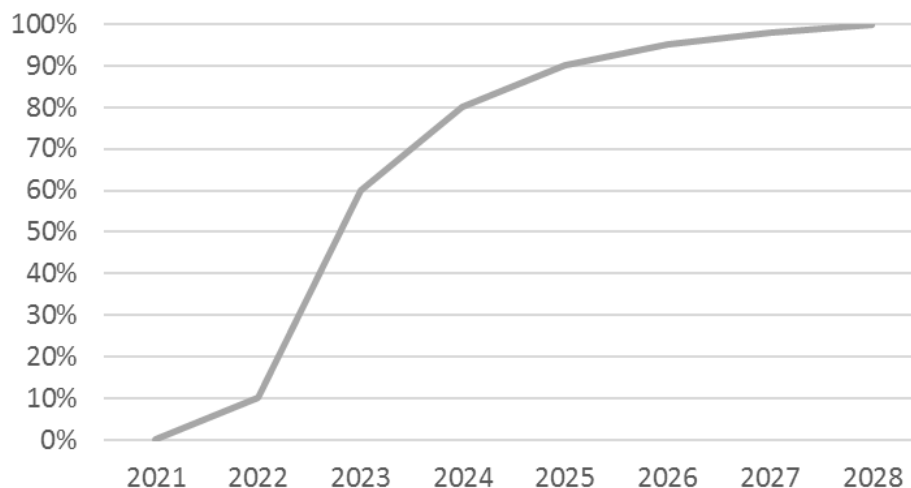


Figure 4 : Part des véhicules renouvelant tendanciellement vers le diesel qui s'orienteront vers d'autres énergies (Source : Atmo AuRA)

Les véhicules touchés par une ZFE-m qui renouvellent, ainsi que ceux qui anticipent une future réglementation s'orientent vers les énergies suivantes (Figure 5).

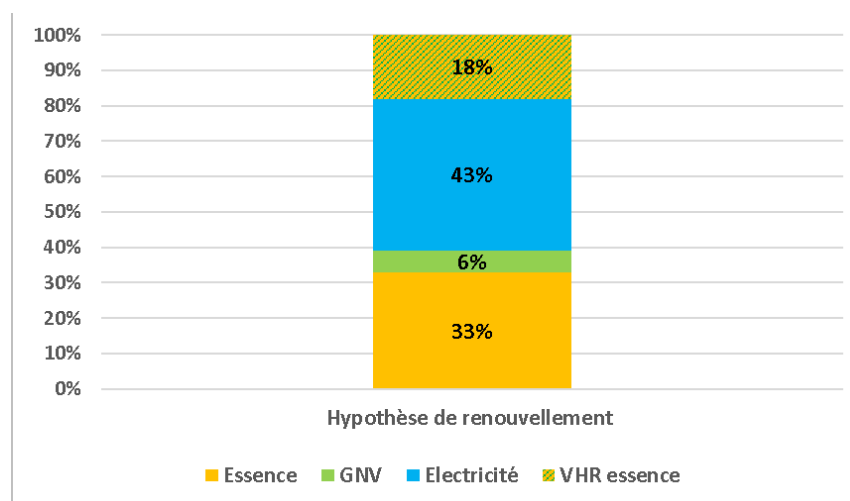


Figure 5 : Mix énergétique retenu pour les véhicules neufs remplaçant des véhicules touchés par une nouvelle restriction ou anticipant une future réglementation (Source : Atmo AuRA/GAM)

#### ➤ Projection du parc de 2RM dans le scénario ZFE

Une projection du parc intégrant la ZFE-m a été produite avec les mêmes hypothèses qui ont été utilisées pour les VP.

Les 2RM touchés par la ZFE-m sont remplacés suivant le mix énergétique donné dans la Figure 6.



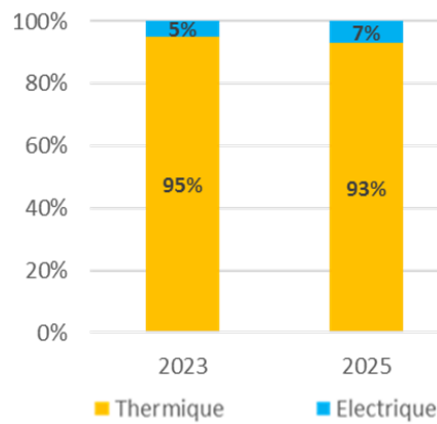


Figure 6 : Mix énergétique retenu pour les deux-roues motorisés neufs remplaçant des 2RM touchés par une nouvelle restriction (Source : Atmo AuRA)

### **Hypothèses communes aux deux scénarios**

Pour le scénario tendanciel et le scénario ZFE-m, les parcs des véhicules utilitaires légers (VUL) et des poids-lourds (PL) sont pris en compte avec la mise en place de la ZFE-m VUL/PL, et son calendrier de restriction : depuis le 1<sup>er</sup> juillet 2022, les véhicules avec une vignette Crit'Air 3 et plus ne peuvent plus circuler sur le périmètre de la ZFE-m, qui comprend 27 communes de la Métropole en excluant les VRU). Puis, à partir de juillet 2025, cette interdiction s'étendra aux VUL et aux PL Crit'Air 2.

Cette comparaison permet de mettre en évidence les réductions d'émissions liées à la mise en place de la ZFE-m par rapport à l'évolution tendancielle du parc, puis les impacts sur la population exposée aux concentrations des différents polluants.

## Méthodologie mise en œuvre pour modéliser l'impact de la ZFE sur les pratiques de mobilité

### Les grands principes de la méthodologie

#### ➤ Présentation du modèle de déplacement

Un modèle numérique des déplacements restitue les déplacements tous modes sur la base d'une connaissance fine du territoire, c'est-à-dire de données de population résidente, d'emplois, de localisation des équipements, de comportements de mobilité, d'infrastructures et de services de transport existants ou futurs.

Le modèle simule les flux par mode (ainsi que les répartitions modales) et par origine-destination, les volumes de trafics de véhicules sur les axes et la fréquentation des lignes de transports collectifs (urbains ou périurbains). Les résultats des simulations viennent alimenter les réflexions sur les choix à opérer en matière de scénarios de développement des services de déplacements.

L'avantage du modèle est de pouvoir prendre en charge les demandes de déplacements complexes de façon multimodale et d'intégrer les caractéristiques des déplacements (motifs, origines et destinations), des réseaux (capacités) et des services de transports (offre).

Le modèle du SMMAG est un modèle multimodal de transport « à 4 étapes » :

- i. Pourquoi je me déplace et combien de déplacements j'effectue dans la journée (étape de génération) ?
- ii. Quelle destination je choisis pour mon déplacement (étape de distribution) ?
- iii. Quel mode de transport je choisis pour mon déplacement (étape de choix modal) ?
- iv. Quel itinéraire j'emprunte pour effectuer mon déplacement (étape d'affectation) ?

L'outil de modélisation est décomposé en une succession de modèles, c'est à dire de formules mathématiques simples représentant au mieux le comportement des personnes se déplaçant.

En amont de la chaîne de modélisation se trouvent les données socio-économiques et les données d'offre de transport. En aval, l'outil restitue des matrices origine-destination et les fréquentations des différentes infrastructures de transport (charge des lignes TC, trafic routier, etc.).

La plupart des grandes agglomérations françaises font appel à ce type de modèles pour tester des scénarios de projets de transport et évaluer leur politique de mobilité (Ile de France, agglomérations de Toulouse, Lyon, Bordeaux, Nantes, Nice Côte d'Azur, etc.).

#### ➤ Méthodologie d'évaluation des impacts de la ZFE sur les pratiques de mobilité

La mise en place d'une ZFE place l'utilisateur face à une série de choix du point de vue de la mobilité :

- Pour un usager disposant d'un véhicule autorisé : pas de modification de la mobilité.
- Pour un usager disposant d'un véhicule non autorisé et devant se déplacer dans la ZFE, les choix suivants sont possibles :
  - Annuler le déplacement : ainsi c'est un impact sur le taux de mobilité même de l'utilisateur.
  - Changer de destination pour faire le déplacement vers un autre site qui n'est pas dans la ZFE : c'est une modification de la structure spatiale, aussi appelée distribution, qui présuppose que la destination peut changer, par exemple dans le cas de motifs non contraints (achat).
  - Changer de mode de déplacements, en laissant la voiture de côté. Il s'agit alors d'un report modal.
  - Changer de véhicule pour faire le déplacement en voiture tout en respectant la réglementation. Il s'agit d'un renouvellement.
  - Faire le déplacement en ne respectant pas la réglementation en vigueur et prendre le risque de payer une amende.

- Changer d'itinéraire pour éviter de passer par un secteur couvert par la ZFE.

L'utilisateur est donc confronté à des choix variés et sa prise de décision finale est commandée par de nombreux facteurs (pouvoir d'achat, pratiques de déplacements, niveau de restriction, offre alternative, etc.).

### Point d'attention

Le modèle, dans son état « standard » ne permet pas l'évaluation d'un projet de ZFE, il a été donc nécessaire de procéder à des adaptations pour intégrer les différents éléments composant un tel projet. Ces adaptations ont été faites en respectant les principes de fonctionnement du modèle pour éviter d'altérer sa structure et donc la pertinence de ses résultats.

Les différentes modalités de comportement décrites précédemment ont été traduites dans le modèle de déplacement, qui est capable de prendre en compte l'évolution de la demande pour les différents moyens de transport, l'évolution du nombre de km parcourus, l'évolution des conditions de circulation, etc.

Le modèle de déplacement permet d'analyser l'impact de la ZFE sur :

- Les comportements de mobilité : trafics attendus au sein de la ZFE, kilomètres parcourus, report modal, etc. ;
- Les distances, les temps de déplacement ;
- Le réseau de transports en commun : estimation de la demande supplémentaire générée, anticipation des saturations éventuelles du réseau, et donc des besoins de renforcement, etc. ;
- Le stationnement, en parcs-relais et à l'intérieur / extérieur de la zone réglementaire ; besoins localisés en parkings relais ou de rabattement, etc.

## Le modèle de déplacement et les adaptations nécessaire à l'évaluation de la ZFE

### ➤ Outil de modélisation

Grenoble Alpes Métropole dispose d'un outil de modélisation des déplacements sous la forme d'un modèle statique 4 étapes. Ce modèle fonctionne selon un principe séquentiel classique décrit sur la figure suivante.

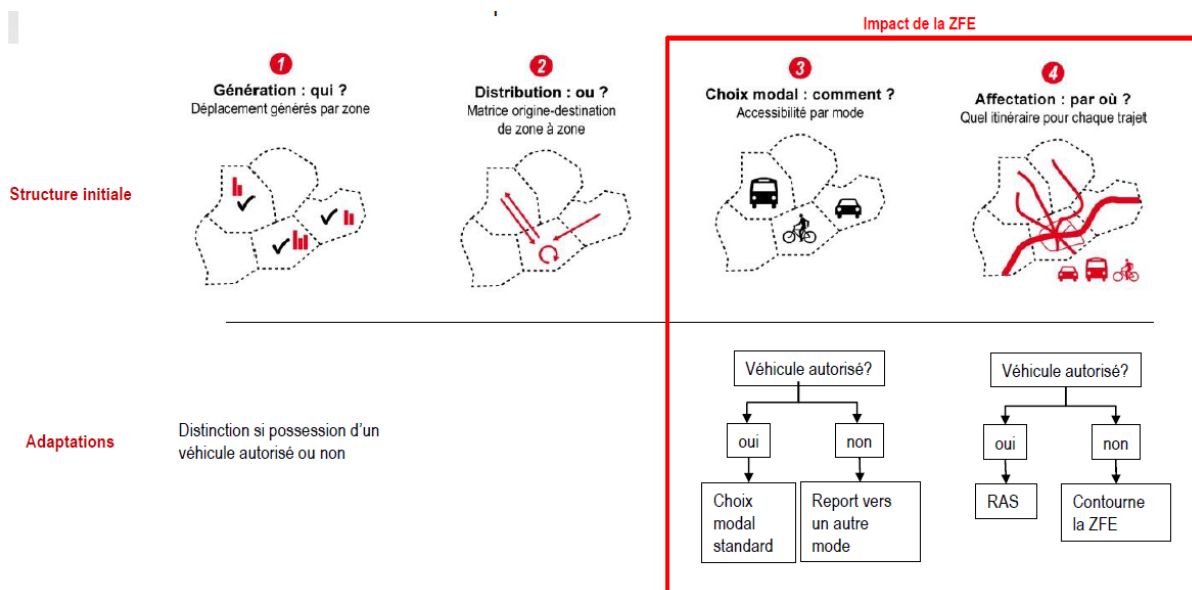


Figure 7. Schéma des quatre étapes de calcul d'un modèle multimodal à quatre étapes

Ce type d'outil est spécifiquement développé pour évaluer des projets d'infrastructure de transport ou de développement urbain. Il permet d'alimenter les réflexions des acteurs du territoire en fournissant des tendances d'évolution des déplacements et de leurs conditions de réalisation selon les projets intégrés.

Le schéma suivant récapitule les entrants et sortants du modèle.

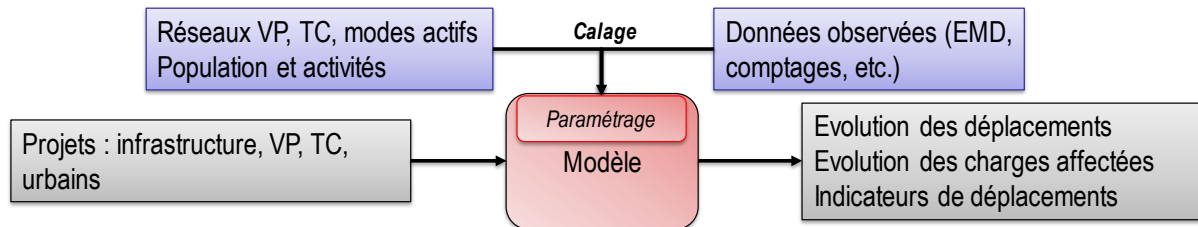


Figure 8. Données d'entrée, résultats et paramétrage d'un modèle statique classique

Par définition, un projet de ZFE se rapporte à une variable non intégrée dans le modèle. La variable en question étant le type de véhicule d'un individu donné. De plus, les modèles 4 étapes de ce type sont des modèles agrégés. La définition d'une variable pour un individu donné n'est donc pas possible.

#### Point d'attention

Le modèle, dans son état « standard » ne permet pas l'évaluation d'un projet de ZFE, il a été donc nécessaire de procéder à des adaptations pour intégrer les différents éléments composant un tel projet. Ces adaptations ont été faites en respectant les principes de fonctionnement du modèle pour éviter d'altérer sa structure et donc la pertinence de ses résultats.

#### ➤ Adaptation de la modélisation des déplacements pour évaluer les impacts d'une ZFE

Les éléments suivants se basent sur la modélisation ZCR réalisée en 2016 / 2017 à l'aide du modèle du SMMAG et de la métropole grenobloise. Le principe de modélisation étant repris pour la ZFE.

Avant tout il est proposé de rappeler la structure de fonctionnement du modèle de l'agglomération.

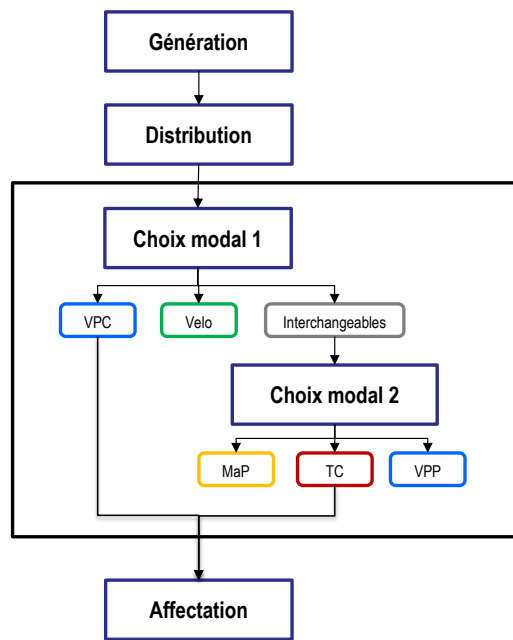


Figure 9. Principe de fonctionnement du modèle de Grenoble

- L'étape de génération contient la notion de taux de mobilité. En effet, elle associe à chaque groupe d'individu (groupes définis en fonction de leurs pratiques de mobilité et répartition géographique sur le territoire) un taux de mobilité pour les différentes chaînes de déplacements modélisées.
  - Une chaîne de déplacements est constituée de l'ensemble des déplacements d'un individu au cours d'une journée, elle se caractérise dans la très grande majorité des cas par un départ du domicile, différentes activités, puis un retour au domicile. Par exemple : Domicile-Accompagnement-Travail-Achat-Travail-Loisir-Domicile. Une telle chaîne correspond à une personne qui accompagne son enfant le matin à l'école, puis va au travail, sort le midi pour acheter un repas, retourne au travail, fait du sport le soir et rentre à son domicile.
  - Les chaînes présentes dans le modèle sont issues d'un traitement de la dernière EMD sur le territoire grenoblois. Les taux de mobilités sont également issus de cette EMD.
- La distribution est l'étape qui répartit spatialement les déplacements. Cette répartition se fait par un modèle gravitaire et sur la base de deux notions :
  - L'attractivité d'une zone pour un motif de déplacement donné (par exemple pour le motif Travail, c'est le nombre d'emplois dans la zone qui définit l'attractivité).
  - L'accessibilité d'une zone : cette dernière est définie par les temps de parcours sur les différents modes disponibles (la formule utilisée s'apparente à un minimum des temps de parcours VP, TC et MaP).

A noter que les données socio-économiques sont un entrant du modèle (la localisation des domiciles, emplois, surfaces commerciales, etc.), par contre le modèle gère la répartition des déplacements d'une zone à l'autre. Plus spécifiquement : le modèle ne peut pas changer la zone de domicile d'un individu, mais il peut faire basculer son lieu de travail si une zone est plus attractive ou accessible d'un scénario à l'autre.

C'est à cette étape que la notion de changement de destination peut apparaître pour un usager qui voudrait se déplacer dans la ZFE mais avec un véhicule non autorisé.

A priori, un changement de destination ne concerne que les déplacements non contraints tels que les achats, loisirs, etc. Une autre formulation possible est de présupposer que la ZFE ne va pas réduire l'attractivité des emplois et lieux d'étude.

Il n'existe pas de retours d'expérience quantitatifs sur l'impact d'une ZFE sur le choix de destination. Pour traiter cette question, il est proposé de chercher une analogie avec d'autres projets représentant une contrainte pour

l'usager routier. Ainsi, les retours d'expériences sur les péages urbains (Ademe<sup>6</sup>) sont analysés pour identifier les éventuels effets d'une contrainte sur le choix de destination des usagers.

Ville	Effet Trafic	Années écoulées pour comparaison	Remarque
Durham	-85%		1 rue
Bergen	3%		Croissance liée aux nouveaux aménagements
Bergen	-6%		Baisse avant nouveaux aménagements
Oslo	6%		Croissance liée aux nouveaux aménagements
Singapour	-45%	16	
Téhéran	40%		Pas surveillé
Londres	-16%	5	
La Valette	-22%	1	
Milan	-28%	3	-14% de véhicules entrants
Stockholm	-22%	1	
Göteborg	-12%	2	
<b>Moyenne</b>	<b>-15% à -85%</b>		Augmentation offre et demande TC

Tableau 1. Synthèse des effets des péages urbains (source Ademe)

Si les évaluations réalisées mettent en évidence des baisses de trafic importantes, elles ne permettent pas d'estimer une baisse d'attractivité des zones concernées, notamment parce que ce type de projet s'accompagne de mesures compensatoires comme le développement de l'offre TC.

De manière générale, si la question d'un report de déplacements est légitime, il est délicat de le qualifier et encore plus de le quantifier. Ainsi, il n'est pas préconisé de tenir compte de cet effet dans la modélisation. Ici aussi, le fait de présupposer une absence d'effet sur la distribution permet une estimation haute des effets de la ZFE sur le périmètre concerné.

A noter que cette notion de report de destination peut intervenir post-modélisation, à travers une fourchette de déplacements pouvant potentiellement se reporter en dehors du périmètre.

- Le choix modal est l'étape où les déplacements se répartissent sur les différents modes disponibles. D'un scénario à l'autre, c'est ici que la notion de report modal apparaît.

Pour disposer d'éléments sur le report modal lié à la ZFE, il est proposé d'utiliser les paramètres du choix modal du modèle, en apportant cependant la modification suivante : pour un usager n'ayant pas de véhicule autorisé, le périmètre de la ZFE est ressenti comme inaccessible en voiture.

Ce principe relativement simple fait cependant intervenir plusieurs hypothèses complémentaires :

- L'usager considéré comme n'ayant pas de véhicule autorisé ne peut pas enfreindre la réglementation (dans le modèle un tel usager sera défini en amont comme quelqu'un pouvant se déplacer vers la ZFE mais sans savoir s'il peut y aller en voiture, le choix modal intervient après la distribution).
- Dans le cas d'un modèle agrégé, il est nécessaire de définir une proportion d'usager possédant des véhicules non autorisés. Or la notion de population et de répartition par groupe intervient dès la génération.

<sup>6</sup> AJBD, Le Clercq G., Fayolle D. 2016. Etat de l'art sur les péages urbains : objectifs recherchés, dispositifs mis en œuvre et impacts sur la qualité de l'air. Rapport, 70 pages.

- Le choix modal actuel du modèle distingue 5 modes : Voiture conducteur (VPC), Voiture passager (VPP), Vélo, TC, Marche à pied. Dans le cas d'une ZFE, une adaptation possible de l'utilisateur et de se rabattre au plus près du périmètre restreint avec un véhicule non autorisé et de finir son trajet avec un autre mode.
- L'affectation est l'étape finale du modèle, l'utilisateur doit choisir l'itinéraire pour faire son déplacement. Dans le cas d'un usager ne possédant pas un véhicule autorisé, une partie des tronçons du réseau lui sont inaccessibles. Dans le modèle cela revient à distinguer les déplacements en voiture liés à des usagers possédant un véhicule autorisé des usagers qui ne possèdent pas à un véhicule autorisé.

Ainsi l'adaptation du modèle prend la forme schématique décrite sur la figure suivante. Les notions de renouvellement et de non-respect de la réglementation (risque de payer une amende) sont des entrants de la modélisation. En effet le renouvellement revient à disposer d'un véhicule autorisé, tandis que le risque de payer une amende fait appel à la notion de respect des règles<sup>7</sup> en vigueur et ne peut être modélisée pas l'outil disponible. Dans les tests, le choix est fait technique de faire l'hypothèse d'un taux de respect de 100%.

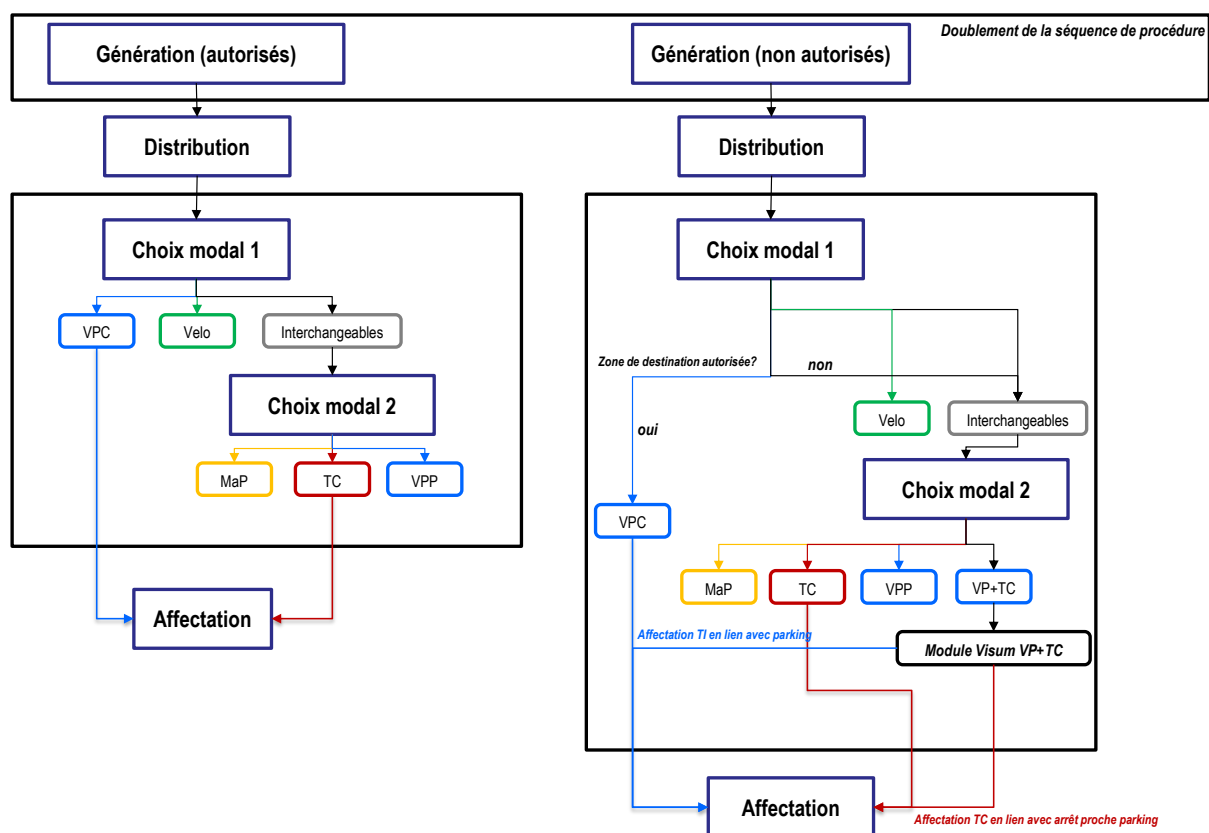


Figure 10. Principe d'adaptation du choix modal pour les véhicules non autorisés

### ➤ Principe méthodologique

Si les impacts d'une ZFE peuvent être multiples du point de vue de la mobilité des usagers, il est difficile de pouvoir tous les estimer de manière fiable. D'une part les données en termes de retour d'expérience sont limitées, d'autre part les outils de modélisation (développés pour des besoins différents) ne permettent pas d'intégrer directement

<sup>7</sup> La notion de coût pourrait être intégrée dans l'outil, mais il apparaît minimaliste d'associer le non-respect de la réglementation à une simple contrainte financière (du moins pour la majorité des usagers).



les notions auxquelles sont appelées la ZFE. Dans le cas de Grenoble, la modélisation des déplacements impactés par la ZFE doit tenir compte des limites intrinsèques de l'outil disponible, notamment vis-à-vis de sa structure générale.

Au final, la méthode de modélisation proposée implique :

- De ne pas tenir compte d'éventuels impacts sur la génération et la distribution des déplacements. Il est considéré que les usagers ont besoin de se déplacer de manière identique à une situation sans ZFE.
- Il s'agit d'une hypothèse conservatrice en termes de structure des déplacements qui fournira des estimations hautes (pas de démobilité notamment) du point de vue des effets en lien avec le périmètre ZFE.
- De tenir compte des impacts sur le choix modal et l'affectation : les usagers sont contraints dans leur choix de mode et d'itinéraire par la présence de la ZFE.

### ➤ Limites de l'approche

Outre les limites et biais déjà cités, il est nécessaire de rappeler que la modélisation 4 étapes intègre par défaut des limites (agrégation de motifs, considérations de quelques variables, fonctionnement séquentiel, etc.), parmi lesquelles :

- La conservation des comportements de mobilité dans le temps. Dans le cas présent les comportements du modèle sont basés sur une situation 2010. Ces comportements évoluent naturellement dans le temps : du fait de l'évolution des infrastructures de transports, de l'aménagement du territoire mais aussi par des facteurs sociétaux, environnementaux, etc.

Cette hypothèse de conservation des pratiques de mobilité est une approximation forte, un travail mené sur l'agglomération lyonnaise (Delgado<sup>8</sup>, 2013) a mis en évidence que les projections fournies par les modèles macroscopiques au-delà de 10 ans présentent des incohérences.

Il est donc vraisemblable que les comportements évolueront d'ici à la mise en œuvre de la ZFE et seront directement impactés par sa présence et son niveau de restriction.

- Le modèle a été développé pour répondre à certains besoins. Les tests ZFE viennent créer une contrainte forte, en dehors des éléments usuellement testés, et font réagir fortement les résultats du modèle. Les processus de modélisation classiques ne sont pas totalement adaptés à ce type de rupture. Plus les contraintes « non conventionnelles » augmentent, plus l'incertitude sur les résultats est forte.
- La répartition de la population et des activités sur le territoire évoluera également en fonction des conditions (et réglementation) de déplacements. Dans les tests menés ici, les scénarios ZFE à horizon constant sont également à socio-économie constante.

La présence d'une ZFE contraignante et sans aucun doute un levier pour limiter la motorisation des ménages (en particulier chez les jeunes) et impactera le choix de lieu de résidence.

En ce sens les résultats du modèle doivent être interprétés comme des tendances générales et non comme des valeurs « brutes » sur lesquelles baser une approche complète en matière de mobilité.

L'approche par des tests exploratoires est adaptée au cas présent car il s'agit d'utiliser le modèle comme la source de donnée la plus adaptée pour mener une telle analyse. Cependant les résultats qui sont extraits doivent être considérés avec recul pour comprendre les tendances fournies et les adapter si besoin avec des éléments complémentaires.

---

<sup>8</sup> Cabrera Delgado, J. (2013). Quelle prise en compte des dynamiques urbaines dans la prévision de la demande de transport ? [Thèse de doctorat, Université Lumière Lyon 2], [http://theses.univ-lyon2.fr/documents/lyon2/2013/cabrera\\_delgado\\_j/pdfAmont/cabrera\\_delgado\\_j\\_these.pdf](http://theses.univ-lyon2.fr/documents/lyon2/2013/cabrera_delgado_j/pdfAmont/cabrera_delgado_j_these.pdf)

C'est également pour cela que certains résultats sont exploités plus finement, afin d'extraire les informations nécessaires pour d'éventuelles adaptations.

Ce qu'on obtient avec les modélisations :

- Comprendre les effets de la ZFE
- Les quantifier par des indicateurs agrégés
- Faire ressortir des tendances qui permettront de construire une vision stratégique et un plan d'actions

## **Hypothèses de modélisation**

### ➤ **Hypothèses pour alimenter l'étape de génération**

L'étape de génération fait appel aux éléments suivants dans la modélisation classique :

- i. Nombre d'individus par groupe de population pour chaque zone fine.
- ii. Taux de mobilité d'une classe d'individu pour une chaîne de déplacement donnée.
- iii. Chaînes de déplacements.

Les éléments « 2 » et « 3 » sont supposés inchangés dans le cas de la ZFE. L'élément « 1 » est distingué en deux sous-groupes dans le cadre de l'adaptation du modèle :

- Nombre d'individus par groupe de population possédant un véhicule autorisé pour chaque zone fine
- Nombre d'individus par groupe de population ne possédant pas un véhicule autorisé pour chaque zone fine

En réalité une seule hypothèse est nécessaire à ce stade : la part des usagers ne possédant pas un véhicule autorisé.

Cette hypothèse est construite de la manière suivante :

- Part des véhicules non autorisés dans la commune de résidence ( $\%_{\text{non autorisés de base}}$ ) : il s'agit de la donnée de base permettant d'identifier le volume d'usagers impactés.
- Cette donnée fait cependant appel à la notion de parc automobile statique et de parc automobile dynamique (ou roulant). La distinction entre les deux vient du fait que certains véhicules roulent en pratique plus que d'autre (notamment dans le cas des ménages possédant 2 voitures ou plus).
- Part des usagers qui envisagent un **renouvellement** ( $\%_{\text{renouvellement}}$ ) avec la mise en œuvre de la ZFE. Dans ce cas, la part des véhicules non autorisés devient :
- $\%_{\text{non autorisés avec renouvellement}} = \%_{\text{non autorisés de base}} * (1 - \%_{\text{renouvellement}})$
- Part des usagers qui envisagent de frauder et risquent de **payer une amende** ( $\%_{\text{amende}}$ ) pour continuer à circuler dans la ZFE. Dans ce cas, la part des véhicules non autorisés devient :

$$\%_{\text{non autorisés avec renouvellement et fraude}} = \%_{\text{non autorisés de base}} * (1 - \%_{\text{renouvellement}} - \%_{\text{amende}})$$

### ➤ **Part des véhicules non autorisés**

La part des véhicules non autorisés est établie à partir de la modélisation du parc de véhicule et en considérant le nombre de véhicules « non renouvelé ».

## Méthodologie mise en œuvre pour évaluer les effets de la ZFE-m sur la qualité de l'air

### Méthodologie de calcul des émissions de polluants

L'ensemble des éléments de calcul des émissions de polluants présentés dans ce rapport sont produits à l'aide des outils de l'observatoire régional de la qualité de l'air Atmo Auvergne-Rhône-Alpes.

Les émissions de polluants associées au trafic routier sont estimées à partir :

- Des **données de trafic** modélisées dans la partie précédente :
  - Composition du parc roulant ;
  - Distances parcourues par catégorie de véhicules.
- D'une base de données de **facteurs d'émissions**, qui pour chaque catégorie de véhicules, chaque polluant et chaque condition de circulation donne un facteur d'émission unitaire, qui correspond à un nombre de gramme de polluant par kilomètre parcouru.

Les calculs d'émissions ont été réalisés par tronçon routier puis agrégés par commune. Les distances parcourues par tous les types de véhicules sur la Métropole grenobloise proviennent du modèle trafic géré conjointement par l'AURG<sup>9</sup> et le SMMAG<sup>10</sup> :

- Année de référence 2018 modélisation cœur de ville cœur de métropole
- Modélisation tendancielle 2025 et 2028 tenant compte de l'évolution démographique et économique du territoire issue des projections du SCoT.
- Modélisation de scénarii tenant compte de la mise en place de la ZFE-m en 2025 et 2028 (selon les 3 options décrites précédemment)

L'estimation des volumes de trafic pour les années intermédiaires 2022, 2023 et 2024 a été obtenue par extrapolation entre deux modélisations appropriées.

Les facteurs unitaires de consommations et d'émissions des véhicules, proviennent de la base européenne COPERT V5.4.36 utilisée par le CITEPA et les AASQA<sup>11</sup> pour la réalisation des inventaires nationaux et territoriaux.

Quelques ajustements ont été apportés pour les besoins de l'étude pour les véhicules non documentés dans COPERT :

- **Pour les VHR essence** : reprise des facteurs d'émission du véhicule essence en considérant les usages suivants en mode électrique/thermique :
  - En 2020 : 25% / 75% ;
  - En 2030 : 50% / 50% ;
- **Pour les VP électriques** : la consommation unitaire retenue provient d'hypothèses partagées au niveau national (comprises en 12 et 20 kWh/100 km selon la cylindrée du véhicule) ;
- Les hypothèses relatives à **la part de biogaz et biocarburant**, provenant respectivement de GAM et du CITEPA, sont données dans la Figure 11.

<sup>9</sup> Agence d'Urbanisme de la Région Grenobloise

<sup>10</sup> Syndicat Mixte des Mobilités de l'Aire Grenobloise

<sup>11</sup> Association Agréée de Surveillance de la Qualité de l'Air

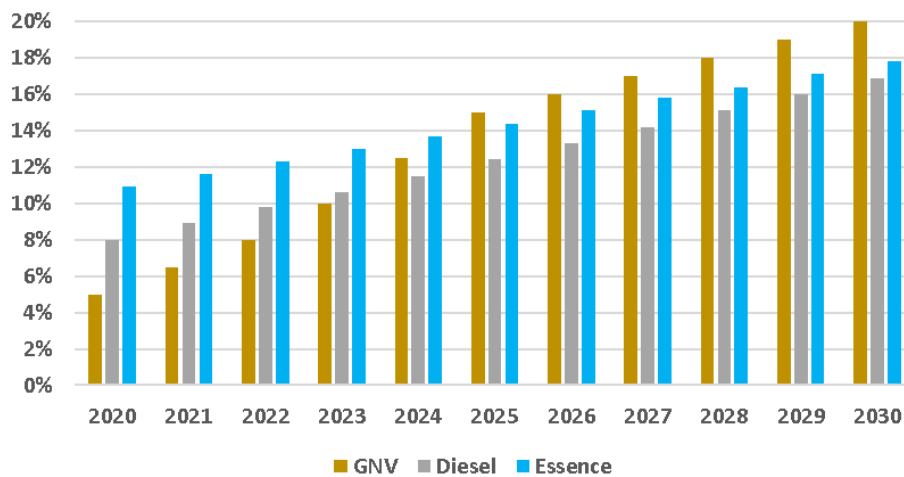


Figure 11 : Pourcentage de biocarburant considéré pour le GNV, le diesel et l'essence

Pour estimer les gains d'émission sur le territoire de la Métropole en dehors du périmètre de la ZFE-m, des hypothèses de proportion de parc ZFE et tendanciel circulant dans différentes zones ont été définies comme suit :

- Première zone : la zone ZFE qui comprend les 13 communes du périmètre de la ZFE-m avec un parc 100% ZFE ;
- Deuxième zone : la 1<sup>ère</sup> couronne qui correspond aux premières communes autour de la zone ZFE et les VRU de la zone ZFE avec un parc défini à 50% ZFE et à 50% tendanciel ;
- Troisième zone : la 2<sup>ème</sup> couronne qui correspond aux premières communes autour de la 1<sup>ère</sup> couronne avec un parc défini à 40% ZFE et à 60% tendanciel ;

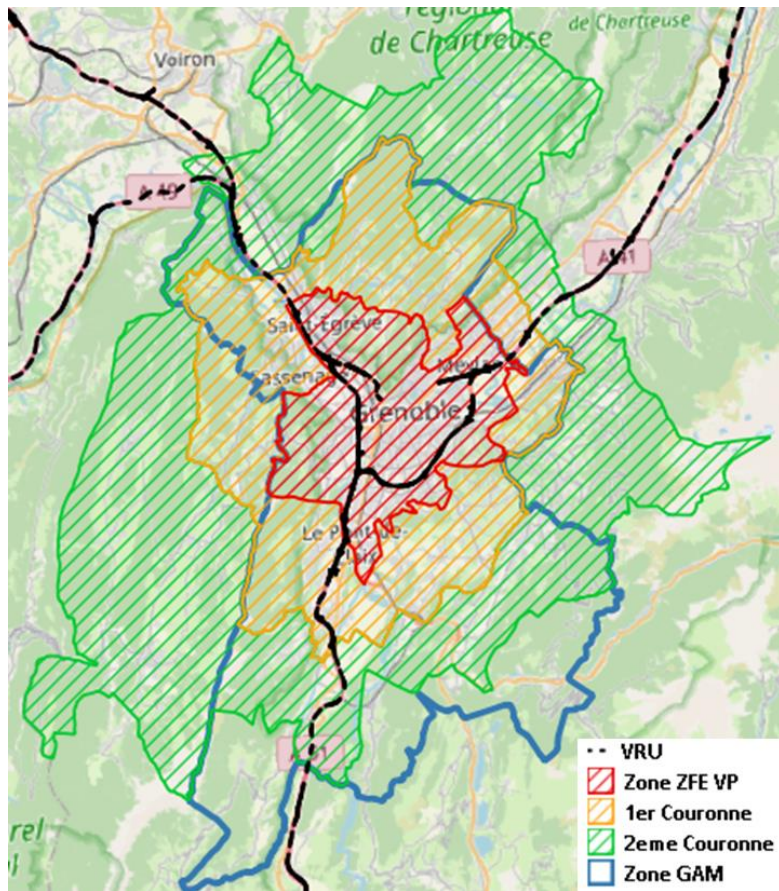


Figure 12 : Répartition des compositions de parc en fonction de différentes zones (Source : Atmo AuRA)

Sur tous les autres axes définis dans le modèle trafic de la Figure 13, on définit un parc à 30% ZFE et à 70% tendanciel.

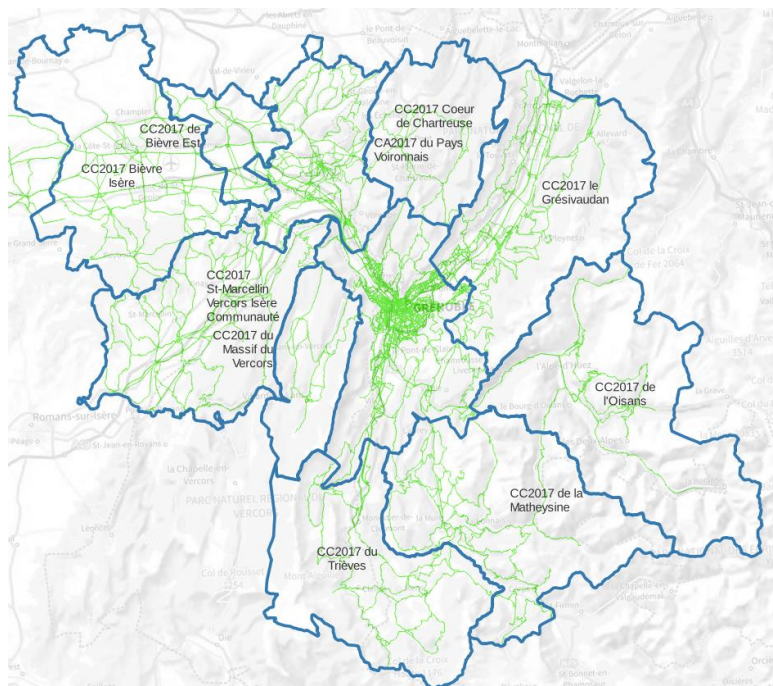


Figure 13 : Modèle trafic utilisé pour calculer les émissions de polluants du trafic routier (Source : AURG/Atmo AuRA)

## Les outils d'évaluation mobilisés

Atmo Auvergne-Rhône-Alpes, observatoire régional de la qualité de l'air, gère des outils permettant d'établir des diagnostics, des prévisions et d'évaluer les impacts des scénarios prospectifs. Trois types d'outils ont été mobilisés de manière intégrée :

### ➤ Le réseau de stations de mesures

Le réseau de mesures d'Atmo Auvergne-Rhône-Alpes intègre 90 stations fixes dont 7 dans l'agglomération grenobloise. Elles permettent de mesurer plusieurs centaines de composés. Ce réseau permet d'évaluer les niveaux d'exposition de typologies d'environnement variés, leurs évolutions temporelles et de collecter des indications sur l'origine de la pollution.

### ➤ Calcul des émissions

Atmo Auvergne-Rhône-Alpes réalise annuellement le calcul des consommations énergétiques, des émissions de gaz à effet de serre (GES) et de polluants atmosphériques sur l'ensemble du territoire régional pour tous les secteurs d'activités sur la base du référentiel PCIT2/OMINEA (CITEPA). La figure ci-dessous présente de manière synthétique la méthodologie de calcul. Les données produites contribuent au diagnostic, à la définition d'objectifs de plan d'actions et au suivi des politiques Air Énergie Climat du territoire.

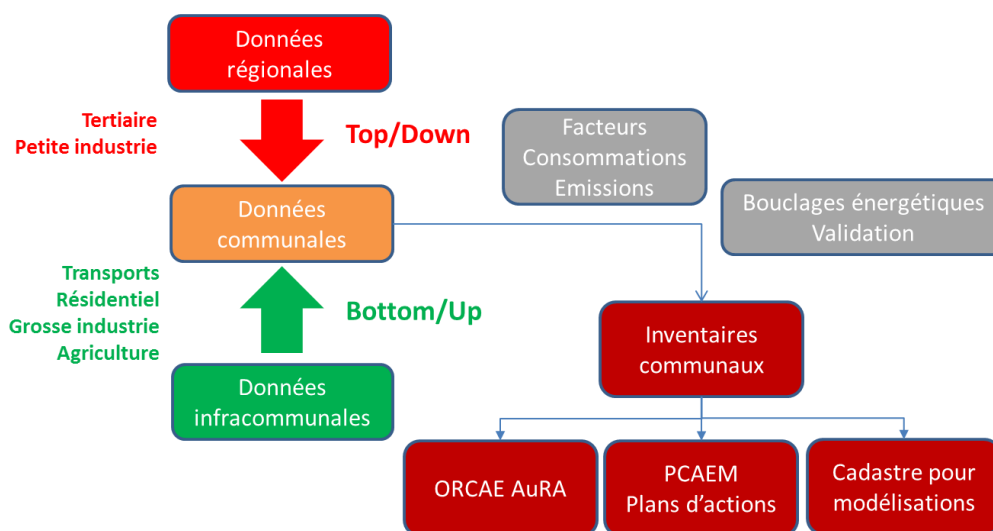


Figure 14. Chaîne de calcul des émissions d'Atmo AURA

Dans le cadre de l'évaluation du projet ZFE-m VUL/PL, les outils de calculs ont été mobilisés pour évaluer les scénarios prospectifs en termes d'émissions de GES (CO<sub>2</sub>, N<sub>2</sub>O, et CH<sub>4</sub>) et polluants (oxydes d'azote, particules PM10 et PM2,5).

### ➤ Calcul des émissions liées aux transports routiers

La Figure 15 illustre la méthode générale de calcul mise en œuvre par Atmo Auvergne-Rhône-Alpes dans le cadre de l'évaluation de la ZFE-m. Elle est basée sur :

- Les volumes de trafic routier issus d'une simulation trafic locale (modélisation du modèle trafic VISUM géré par le STMC ; simulation « 2015\_référence » mise à jour en 2017)
- Des données de parc VUL/PL :
  - issues de l'enquête plaques locale selon décomposition :
    - VUL par classe de poids à vide, ainsi que PL porteurs et articulés
    - Par carburant
    - Par norme Euro



- Puis projetées selon :
  - les évolutions tendanciennes du parc CITEPA AME
  - les restrictions liées à la ZFE-m avec des hypothèses spécifiques pour les véhicules touchés
- Les facteurs d'émissions issus de la méthode européenne standardisée COPERT 5.4.36

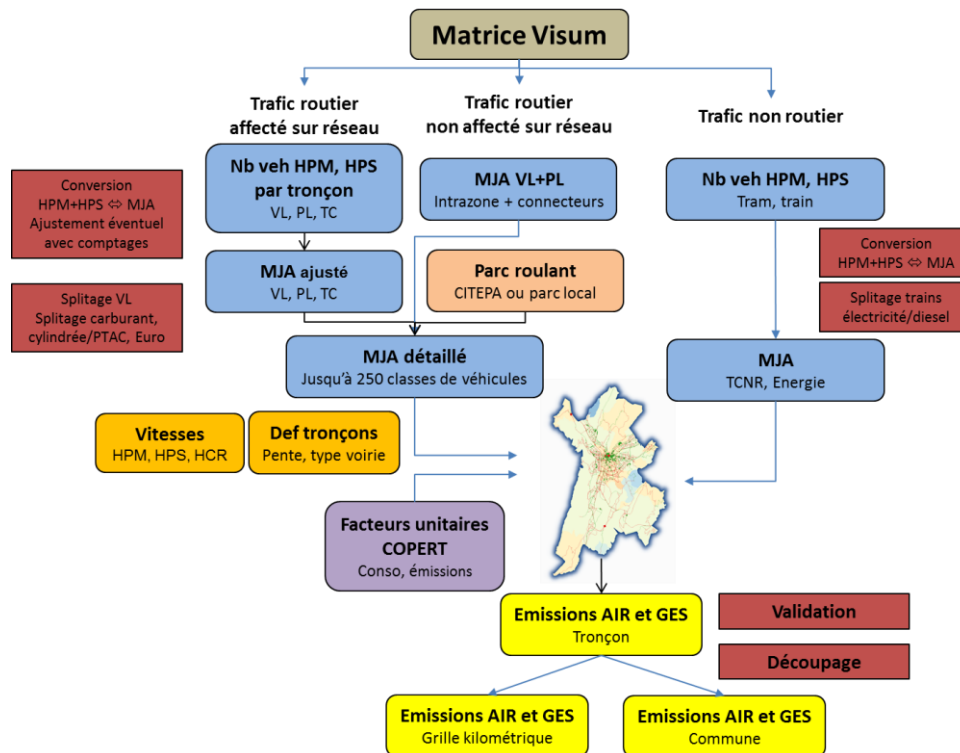


Figure 15. Chaîne de calcul des émissions de transports routiers d'Atmo AURA

## Méthodologie de modélisation des concentrations de polluants atmosphériques et calcul de l'exposition de la population

La modélisation des concentrations de polluants atmosphériques pour les scénarios de référence et prospectifs s'appuie sur :

- Le modèle régional CHIMERE, qui simule les concentrations de fond. Ce modèle s'appuie sur le cadastre régional des émissions, les conditions aux limites (pollution importée) ainsi que les conditions météorologiques.
- Le modèle local SIRANE qui reproduit les concentrations de proximité à l'échelle de la rue. Il repose essentiellement sur les émissions par tronçon évaluées avec l'outil MOCAT ainsi que la caractérisation de chaque rue du domaine (rue ouverte vs canyon).

L'exposition de la population aux concentrations de polluants atmosphériques est déduite par croisement de ces modélisations avec la couche de population du LCSQA pour le périmètre d'étude.



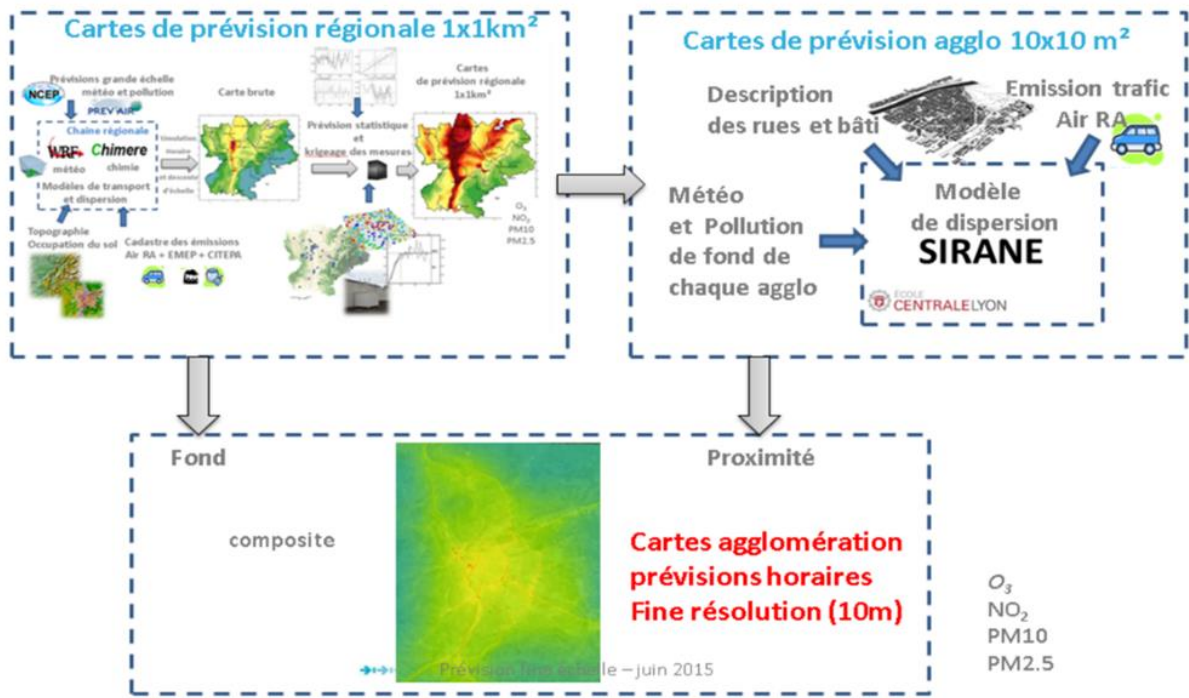


Figure 16. Chaîne



**GRENOBLEALPES  
MÉTROPOLE**



.....  
POUR DÉCOUVRIR L'ENSEMBLE DE LA CONCERTATION  
***metropoleparticipative.fr***

