

# Révision du PCAET de la Métropole de Lyon Impact sur les émissions et l'exposition des populations aux polluants atmosphériques

---

2030-2040-2050

RAPPORT TECHNIQUE

Version 3 du 27 mai 2025

---

Siège social :  
3 allée des Sorbiers 69500 BRON  
Tel. 09 72 26 48 90  
[contact@atmo-aura.fr](mailto:contact@atmo-aura.fr)



# Conditions de diffusion

Atmo Auvergne-Rhône-Alpes est une association de type « loi 1901 » agréée par le Ministère de l'Écologie, du Développement Durable et de l'Énergie (décret 98-361 du 6 mai 1998) au même titre que l'ensemble des structures chargées de la surveillance de la qualité de l'air, formant le réseau national ATMO.

Ses missions s'exercent dans le cadre de la loi sur l'air du 30 décembre 1996. La structure agit dans l'esprit de la charte de l'environnement de 2004 adossée à la constitution de l'État français et de *l'article L.220-1 du Code de l'environnement*. Elle gère un observatoire environnemental relatif à l'air et à la pollution atmosphérique au sens de *l'article L.220-2 du Code de l'Environnement*.

Atmo Auvergne-Rhône-Alpes communique publiquement sur les informations issues de ses différents travaux et garantit la transparence de l'information sur le résultat de ses travaux.

A ce titre, les rapports d'études sont librement disponibles sur le site [www.atmo-auvergnerhonealpes.fr](http://www.atmo-auvergnerhonealpes.fr)

Les données contenues dans ce document restent la propriété intellectuelle d'Atmo Auvergne-Rhône-Alpes.

Toute utilisation partielle ou totale de ce document (extrait de texte, graphiques, tableaux, ...) doit faire référence à l'observatoire dans les termes suivants : © Atmo Auvergne-Rhône-Alpes (2025) Révision du PCAET de la Métropole de Lyon - Impact sur les émissions et l'exposition des populations aux polluants atmosphériques.

Les données ne sont pas rediffusées en cas de modification ultérieure.

Par ailleurs, Atmo Auvergne-Rhône-Alpes n'est en aucune façon responsable des interprétations et travaux intellectuels, publications diverses résultant de ses travaux et pour lesquels aucun accord préalable n'aurait été donné.

En cas de remarques sur les informations ou leurs conditions d'utilisation, prenez contact avec Atmo Auvergne-Rhône-Alpes :

- Depuis le formulaire de contact
- Par mail : [contact@atmo-aura.fr](mailto:contact@atmo-aura.fr)
- Par téléphone : 09 72 26 48 90

# Sommaire

<b>1. Méthodologie générale</b>	<b>7</b>
1.1. Polluants étudiés	7
1.2. Inventaire des émissions	7
1.3. Modélisation des concentrations et calcul de l'exposition de la population	9
<b>2. Hypothèses et méthodologie retenues pour l'étude</b>	<b>10</b>
2.1. Données utilisées	10
2.1.1. Données fournies par la métropole	10
2.1.2. Données évaluées par Atmo Auvergne-Rhône-Alpes	10
2.1.3. Données mobilisées pour les calculs par secteur	10
2.2. Objectifs de réduction des émissions	11
2.2.1. Objectifs nationaux	11
2.2.2. Objectifs du PPA de Lyon	11
2.3. Hypothèses utilisées pour la modélisation des émissions	12
2.3.1. Hypothèses générales	12
2.3.2. Projections énergétiques relatives au scénario tendanciel	13
2.3.3. Hypothèses spécifiques pour le transport routier	14
2.3.4. Hypothèses spécifiques au chauffage individuel au bois	15
2.3.5. Hypothèses sur les principaux émetteurs industriels	15
2.3.6. Prise en compte des actions du PPA 2027	16
2.3.7. Hypothèses spécifiques aux GES fluorés	16
<b>3. Analyse des résultats en émissions</b>	<b>17</b>
3.1. Emissions de PM <sub>2.5</sub>	17
3.2. Emissions de PM <sub>10</sub>	18
3.3. Emissions de NO <sub>x</sub>	19
3.4. Emissions de COVNM	20
3.5. Emissions de NH <sub>3</sub>	21
3.6. Emissions de SO <sub>2</sub>	22
3.7. Emissions de GES	23
3.8. Analyse par macro-secteur d'activités	25
3.9. Analyse par vecteur énergétique	27
<b>4. Analyse des résultats en concentrations et expositions</b>	<b>28</b>
4.1. Concentrations et exposition de la population au NO <sub>2</sub>	28
4.2. Concentrations et exposition de la population aux PM <sub>2.5</sub>	33
4.3. Concentrations et exposition de la population aux PM <sub>10</sub>	37

# Illustrations

Figure 1: Interactions autour de l'inventaire des émissions.....	8
Figure 2 : Principales étapes de la réalisation d'un inventaire d'émissions .....	8
Figure 3 : Chaîne de modélisation utilisée .....	9
Figure 4 : Objectifs nationaux de réduction du PREPA, en % par rapport à 2005.....	11
Figure 5 : Objectifs PPA et PREPA de réduction des émissions par rapport à 2005.....	12
Figure 6 : Evolution de la consommation énergétique par secteur, comparaison des 2 scénarios.....	13
Figure 7 : Evolution des distances parcourues 2021-2050 pour chaque scénario .....	14
Figure 8 : Evolution des émissions de PM2.5 depuis 2005 par rapport aux objectifs.....	17
Figure 9 : Répartition des émissions de PM2.5 par secteur en 2021 sur le territoire.....	17
Figure 10 : Evolution des émissions de PM10 depuis 2005 par rapport aux objectifs.....	18
Figure 11 : Répartition des émissions de PM10 par secteur en 2021 sur le territoire.....	18
Figure 12 : Evolution des émissions de NOx depuis 2005 par rapport aux objectifs.....	19
Figure 13 : Répartition des émissions de NOx par secteur en 2021 sur le territoire.....	19
Figure 14 : Evolution des émissions de COVNM depuis 2005 par rapport aux objectifs.....	20
Figure 15 : Répartition des émissions de COVNM par secteur en 2021 sur le territoire .....	20
Figure 16 : Evolution des émissions de NH <sub>3</sub> depuis 2005 par rapport aux objectifs.....	21
Figure 17 : Répartition des émissions de NH <sub>3</sub> par secteur en 2021 sur le territoire.....	21
Figure 18 : Evolution des émissions de SO <sub>2</sub> depuis 2005 par rapport aux objectifs.....	22
Figure 19 : Répartition des émissions de SO <sub>2</sub> par secteur en 2021 sur le territoire .....	22
Figure 20 : Evolution des émissions des 3 principaux GES depuis 1990.....	23
Figure 21 : Répartition des émissions des 3 principaux GES par secteur en 2021 sur le territoire .....	23
Figure 22 : Evolution des émissions des 7 GES depuis 2010 .....	24
Figure 23 : Répartition des émissions des 7 GES par secteur en 2021 sur le territoire .....	24
Figure 24 : Evolution sectorielle des émissions de polluants à effet sanitaire selon 2 scénarii.....	25
Figure 25 : Evolution sectorielle des émissions de GES selon les 2 scénarii.....	26
Figure 26 : Répartition des émissions par vecteur énergétique selon entre 2021 et le scénario PCAET 2030.....	27
Figure 27 : Moyennes annuelles des concentrations NO <sub>2</sub> en µg/m <sup>3</sup> modélisées pour les situations de référence 2021, tendancielle 2030 et avec actions PCAET 2030 sur la Métropole de Lyon .....	29
Figure 28 : Différence des concentrations moyennes annuelles NO <sub>2</sub> en µg/m <sup>3</sup> modélisées entre les situations de référence 2021, tendancielle 2030 et avec actions PCAET 2030 sur la métropole de Lyon .....	30
Figure 29 : Distribution de l'exposition (à gauche) et exposition moyenne (à droite) de la population de la métropole de Lyon au NO <sub>2</sub> pour les situations de référence 2021, tendancielle 2030 et avec actions PCAET 2030.....	31

<b>Figure 30 : Population exposées aux différents seuils de dépassements en NO<sub>2</sub> modélisées pour les situations de référence 2021, tendancielle 2030 et avec actions PCAET 2030 sur la métropole de Lyon</b>	<b>32</b>
<b>Figure 31: Concentrations de NO<sub>2</sub> mesurées et modélisées aux stations de mesures de la Métropole de Lyon</b>	<b>32</b>
<b>Figure 32 : Moyennes annuelles des concentrations PM<sub>2.5</sub> en µg/m<sup>3</sup> modélisées pour les situations de référence 2021, tendancielle 2030 et avec actions PCAET 2030 sur la Métropole de Lyon</b>	<b>33</b>
<b>Figure 33 : Différence des concentrations moyennes annuelles PM<sub>2.5</sub> en µg/m<sup>3</sup> modélisées entre les situations de référence 2021, tendancielle 2030 et avec actions PCAET 2030 sur la métropole de Lyon</b>	<b>34</b>
<b>Figure 34 : Distribution de l'exposition (à gauche) et exposition moyenne (à droite) de la population de la métropole de Lyon aux PM<sub>2,5</sub> pour les situations de référence 2021, tendancielle 2030 et avec actions PCAET 2030</b>	<b>35</b>
<b><i>Figure 35 : Population exposées aux différents seuils de dépassements en PM<sub>2,5</sub> modélisées pour les situations de référence 2021, tendancielle 2030 et avec actions PCAET 2030 sur la métropole de Lyon</i></b>	<b>36</b>
<b>Figure 36 : Moyennes annuelles des concentrations PM<sub>10</sub> en µg/m<sup>3</sup> modélisées pour les situations de référence 2021, tendancielle 2030 et avec actions PCAET 2030 sur la Métropole de Lyon</b>	<b>37</b>
<b>Figure 37 : Différence des concentrations moyennes annuelles PM<sub>10</sub> en µg/m<sup>3</sup> modélisées entre les situations de référence 2021, tendancielle 2030 et avec actions PCAET 2030 sur la métropole de Lyon</b>	<b>38</b>
<b>Figure 38 : Distribution de l'exposition (à gauche) et exposition moyenne (à droite) de la population de la métropole de Lyon aux PM<sub>10</sub> pour les situations de référence 2021, tendancielle 2030 et avec actions PCAET 2030</b>	<b>39</b>
<b><i>Figure 39 : Population exposées aux différents seuils de dépassements en PM<sub>10</sub> modélisées pour les situations de référence 2021, tendancielle 2030 et avec actions PCAET 2030 sur la métropole de Lyon</i></b>	<b>40</b>
<b>Figure 40 : Evolution des émissions totales entre 2021 et le scénario PCAET 2030</b>	<b>41</b>

# Introduction

La Métropole de Lyon s'est engagée dès 2005 sur les thématiques Climat Energie au travers de son Agenda 21, sous l'angle de la lutte contre l'effet de serre. Son implication s'est poursuivie au travers de différents plans d'actions élargis à la qualité de l'air : premier Plan Climat Energie en 2007, contribution aux actions du Plan de Protection de l'Atmosphère (PPA) de l'agglomération lyonnaise, plan Oxygène pour lutter contre la pollution de l'air, Schéma Directeur des Energies, Plan de Déplacements Urbains (devenu plus récemment Plan de Mobilité), Zone à Faibles Emissions (ZFE-m), dispositif de Fonds Air Bois (FAB), ...

Atmo Auvergne-Rhône-Alpes accompagne la Métropole de Lyon depuis de nombreuses années sur le volet qualité de l'air et plus globalement sur la transversalité Air Climat Energie. Les indicateurs produits reposent sur des outils numériques permettant de modéliser un historique des émissions remontant à 2000 (1990 pour les GES), ainsi que les cartographies annuelles de concentrations des principaux polluants réglementés et les populations associées aux dépassements de seuils réglementaires.

Dans le cadre de la révision du Plan Climat Air Energie Territorial (PCAET) lyonnais, Atmo Auvergne-Rhône-Alpes a transcrit le scénario énergétique du PCAET en émissions de polluants à effet sanitaire aux horizons 2030, 2040 et 2050. Un scénario tendanciel a également été produit par prolongement des évolutions observées ces dernières années. Une projection des émissions de GES a également été réalisée en tenant compte des émissions non énergétiques, ainsi que des GES fluorés sur la base de projections nationales produites par le CITEPA.

# 1. Méthodologie générale

## 1.1. Polluants étudiés

Les travaux de révision du PCAET portent sur les polluants suivants :

- Les **polluants à effet sanitaire** faisant l'objet d'objectifs de réduction dans le cadre du PREPA (Plan national de Réduction des Emissions de Polluants Atmosphériques) et du PPA (Plan de Protection de l'Atmosphère) : NO<sub>x</sub>, PM<sub>2.5</sub>, COVNM, NH<sub>3</sub> et SO<sub>2</sub> (respectivement les oxydes d'azote, les particules fines inférieures à 2.5 micromètres, les composés organiques volatils non méthaniques, l'ammoniac et le dioxyde de soufre). Les émissions de PM<sub>10</sub> (particules fines inférieures à 10 micromètres) ont également été évaluées, sans faire l'objet de réduction dans le cadre des plans d'actions.
- Les **Gaz à Effet de Serre** (GES) : CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub>, N<sub>2</sub>O, HFC, SF<sub>6</sub>, PFC et NF<sub>3</sub> (respectivement le dioxyde de carbone, le méthane, le protoxyde d'azote, les hydrofluorocarbures, les hexafluorures de soufre, les perfluorocarbures et les trifluorures d'azote, ces deux derniers n'étant pas émis sur le territoire). Sont notamment inclus dans cette étude les GES fluorés, à la demande de la métropole, due à la présence d'industriels producteurs de gaz fluorés sur son territoire.

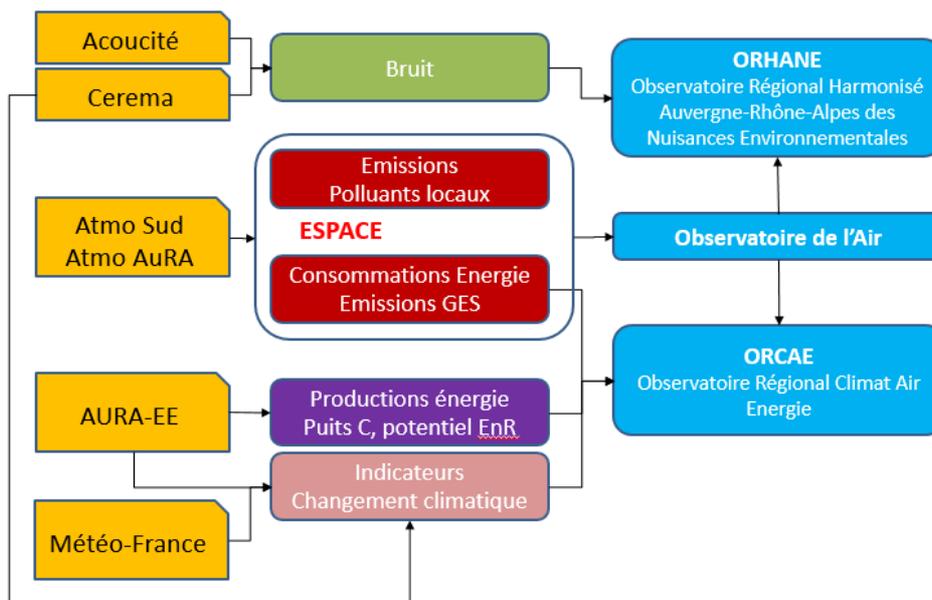
## 1.2. Inventaire des émissions

Atmo Auvergne-Rhône-Alpes développe et enrichit en continu depuis près de vingt ans un inventaire régional des émissions qui répond à différents besoins : alimentation des modèles d'évaluation de la qualité de l'air, des observatoires (Air, ORCAE : Observatoire Régional Climat Air Energie en Auvergne-Rhône-Alpes, ORHANE : Observatoire Régional Harmonisé Auvergne-Rhône-Alpes des Nuisances Environnementales), évaluation des enjeux d'un territoire et alimentation des plans d'actions, comme les Plans de Protection de l'Atmosphère, les Plans de Mobilité, les Zones à Faibles Emissions, les Plans Climat Air Energie Territoriaux.

Les méthodes utilisées suivent les guides méthodologiques européens (EMEP/EEA), nationaux (CITEPA/OMINEA) et régionaux (guide méthodologique du Pôle de Coordination des Inventaires Territoriaux) qui décrivent, pour toutes les activités susceptibles d'émettre des polluants dans l'atmosphère, les méthodes pour générer les données d'activités les plus fiables possibles.

Les bilans de consommations énergétiques et d'émissions de polluants atmosphériques locaux et de Gaz à Effet de Serre sont élaborés à partir de l'outil ESPACE (Evaluation des inventaires spatialisés Air Climat Energie), développé en interne et s'appuyant sur une base de données PostgreSQL.

Le graphe suivant synthétise les interactions autour de l'inventaire des émissions.



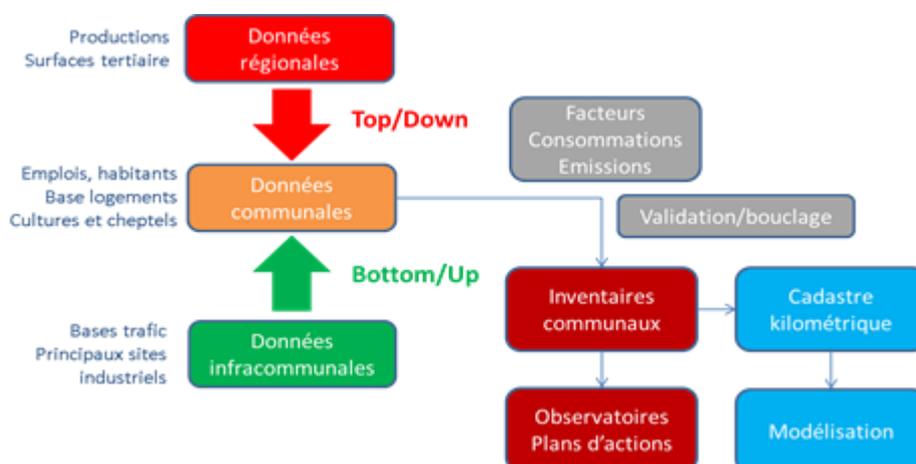
**Figure 1: Interactions autour de l'inventaire des émissions**

Tout inventaire des émissions obéit à certains critères : exhaustivité des sources, comparabilité entre territoires, cohérence temporelle, traçabilité, validation/bouclage avec des statistiques régionales ou consommations réelles locales, respect des règles de diffusion relatives aux données confidentielles.

La méthode privilégiée pour la réalisation de l'inventaire régional est dite « bottom-up » : elle utilise dans la mesure du possible les données (activités, émissions) les plus fines disponibles à l'échelle infra communale (principales émissions industrielles, comptages routiers, parc local de chauffage au bois, ...).

Ces données sont ensuite agrégées à l'échelle communale pour le calcul des émissions (cf. Figure 2).

Lorsque les données n'existent pas à une échelle fine, des données régionales sont désagrégées à l'échelle communale au moyen de clés de désagrégation connues pour l'ensemble des communes de la région (population, emplois, ...). Les données sont en partie ajustées avec les consommations réelles d'énergie (gaz, électricité, chaleur et froid) disponibles en OpenData ou fournies par les partenaires de l'ORCAE.



**Figure 2 : Principales étapes de la réalisation d'un inventaire d'émissions**

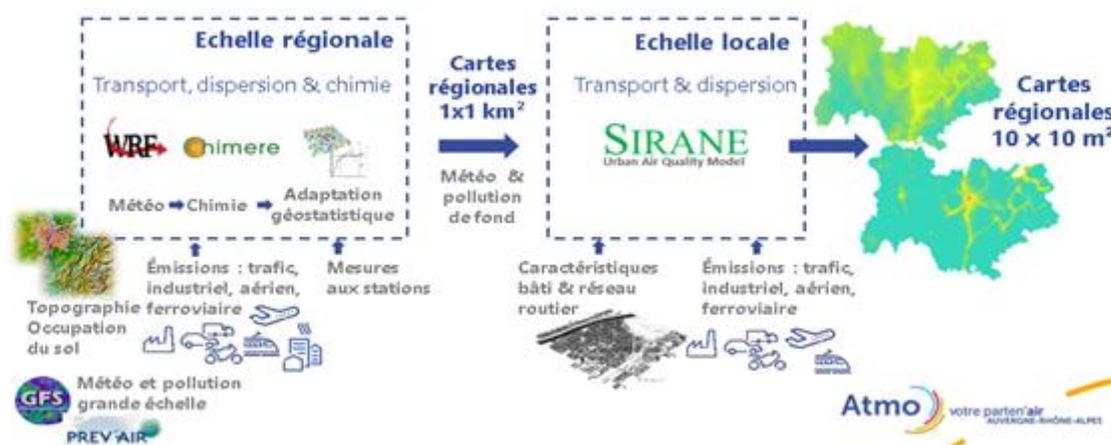
L'inventaire des émissions s'inscrit dans un processus d'amélioration continue. Ainsi sur les dernières années, les méthodes et sources de données ont pu être améliorées : prise en compte de parcs locaux de véhicules, exploitation du recensement des petites chaufferies biomasse FIBOIS AURA, prise en compte du Fonds Air Bois en complément du renouvellement tendanciel du parc d'appareils de chauffage au bois individuel, ...

Dans le cadre de cette étude, les émissions présentées dans la suite du document concernent le périmètre géographique de la Métropole de Lyon, soit 58 communes.

### 1.3. Modélisation des concentrations et calcul de l'exposition de la population

La chaîne de modélisation utilisée pour évaluer l'impact du PCAET est une chaîne intégrant plusieurs échelles spatiales (Figure 3). La méthode développée par Atmo Auvergne-Rhône-Alpes combine ainsi les résultats de modèles à l'échelle de la région et à fine échelle (10 mètres).

Les modèles utilisés dans l'approche par modélisation prennent en compte de nombreux paramètres afin de caractériser au mieux la qualité de l'air en tout point du territoire : les conditions météorologiques, les émissions polluantes (dont celles du trafic de proximité), la topographie, la description des rues et du bâti, les mesures de polluants sur le terrain, les processus chimiques, ...



**Figure 3 : Chaîne de modélisation utilisée**

Le calcul de l'exposition est réalisé en croisant les cartes de concentrations de polluants à une résolution de 10 mètres avec la répartition spatiale des populations résidentes sur la base de la population communale INSEE 2021. L'affectation des populations résidentes à chaque bâtiment a été réalisée par le Laboratoire Central de Surveillance de la Qualité de l'Air (LCSQA).

Une analyse détaillée de la chaîne de modélisation est présentée en annexe 1.

# 2. Hypothèses et méthodologie retenues pour l'étude

## 2.1. Données utilisées

### 2.1.1. Données fournies par la métropole

Les données suivantes ont été fournies par la métropole de Lyon pour le scénario PCAET :

- Projections de consommations énergétiques par secteur d'activités (résidentiel, tertiaire, transports, industrie et agriculture), produites par le bureau d'études ECOVIA par vecteur énergétique (gaz, électricité, fioul, carburants, biomasse, autres combustibles) pour les années 2030, 2040 et 2050.
- Hypothèses relatives à la proportion d'agrocultures et de bioGNV dans les énergies fossiles aux différents horizons.
- Données d'activités permettant d'évaluer les émissions d'origine non énergétique, en particulier les distances totales parcourues par type de véhicules (véhicules particuliers (VP), véhicules utilitaires légers (VUL), poids lourds (PL), transports en commun (TC), ...) ainsi que l'évolution des quantités d'intrants minéraux azotés.

### 2.1.2. Données évaluées par Atmo Auvergne-Rhône-Alpes

En complément, Atmo AuRA a fourni les données suivantes :

- Projections de consommations énergétiques par secteur d'activités (résidentiel, tertiaire, transports, industrie et agriculture), par vecteur énergétique (gaz, électricité, fioul, carburants, biomasse, autres combustibles) pour les années 2030, 2040 et 2050 pour le scénario **tendanciel**
- Compilation des hypothèses relatives aux principales actions du PPA 2027.

### 2.1.3. Données mobilisées pour les calculs par secteur

  
**Résidentiel**

- Évolution de la consommation d'énergie par vecteur
- Nombre de dossiers Fonds Air Bois supplémentaires

  
**Industrie**

- Évolution de la consommation d'énergie par vecteur avec distinction chauffage urbain / UVE / autres

  
**Tertiaire**

- Évolution de la consommation d'énergie par vecteur

  
**Agriculture**

- Évolution des intrants azotés

  
**Routier**

- Évolution de la consommation d'énergie par vecteur
- Evolution des km parcourus par type de véhicule
- Modélisation PDM 2040

  
**Ferroviaire**

- Évolution de la consommation d'énergie par vecteur

PDM : Plan de Mobilités ; UVE : Unité de Valorisation Energétique

## 2.2. Objectifs de réduction des émissions

### 2.2.1. Objectifs nationaux

Le tableau ci-dessous rappelle les objectifs du Plan national de Réduction des Emissions de Polluants Atmosphériques (PREPA) aux horizons 2025 et 2030 par rapport à l'année de référence 2005.

	2020	2025	2030
% par rapport à 2005			
<b>SO<sub>2</sub></b>	-55%	-66%	-77%
<b>NOx</b>	-50%	-60%	-69%
<b>COVNM</b>	-43%	-47%	-52%
<b>NH<sub>3</sub></b>	-4%	-8%	-13%
<b>PM<sub>2,5</sub></b>	-27%	-42%	-57%

**Figure 4 : Objectifs nationaux de réduction du PREPA, en % par rapport à 2005**

Il s'agit de s'assurer que les actions proposées dans le cadre du PCAET permettent d'atteindre ces objectifs à travers les projections réalisées.

Par ailleurs, la France s'est fixée des objectifs de décarbonation, visant à réduire de 55% ses émissions de GES en 2030 par rapport à 1990, et d'atteindre la neutralité carbone d'ici 2050. La métropole de Lyon vise également à respecter ces objectifs sur son territoire.

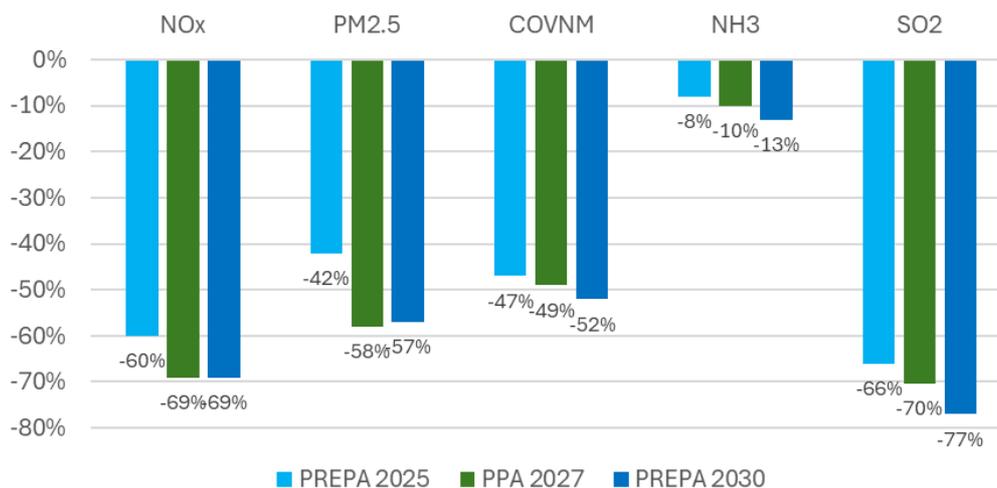
### 2.2.2. Objectifs du PPA de Lyon

La directive européenne 2008/50/CE concernant l'évaluation et la gestion de la qualité de l'air ambiant prévoit que, dans les zones et agglomérations où les normes de concentrations de polluants atmosphériques sont dépassées, les Etats membres doivent élaborer des plans ou des programmes permettant d'atteindre ces normes.

En France, c'est le Plan de Protection de l'Atmosphère (PPA), mis en place par la Loi sur l'Air et l'Utilisation Rationnelle de l'Energie (loi LAURE du 30/12/1996), qui doit permettre d'assurer le respect des normes de qualité de l'air fixées à l'article R. 221-1 du Code de l'Environnement. Outre les zones où les normes de qualité de l'air sont dépassées ou risquent de l'être, des Plans de Protection de l'Atmosphère doivent aussi être élaborés dans toutes les agglomérations de plus de 250 000 habitants.

Le PPA3 de Lyon, adopté en 2022 a défini les objectifs suivants à respecter à l'horizon 2027, correspondant :

- A l'objectif PREPA 2030 pour NOx et PM2.5
- À l'objectif PREPA 2027, obtenu par interpolation entre les objectifs PREPA 2025 et 2030, pour COVNM, NH3 et SO2.



**Figure 5 : Objectifs PPA et PREPA de réduction des émissions par rapport à 2005**

## 2.3. Hypothèses utilisées pour la modélisation des émissions

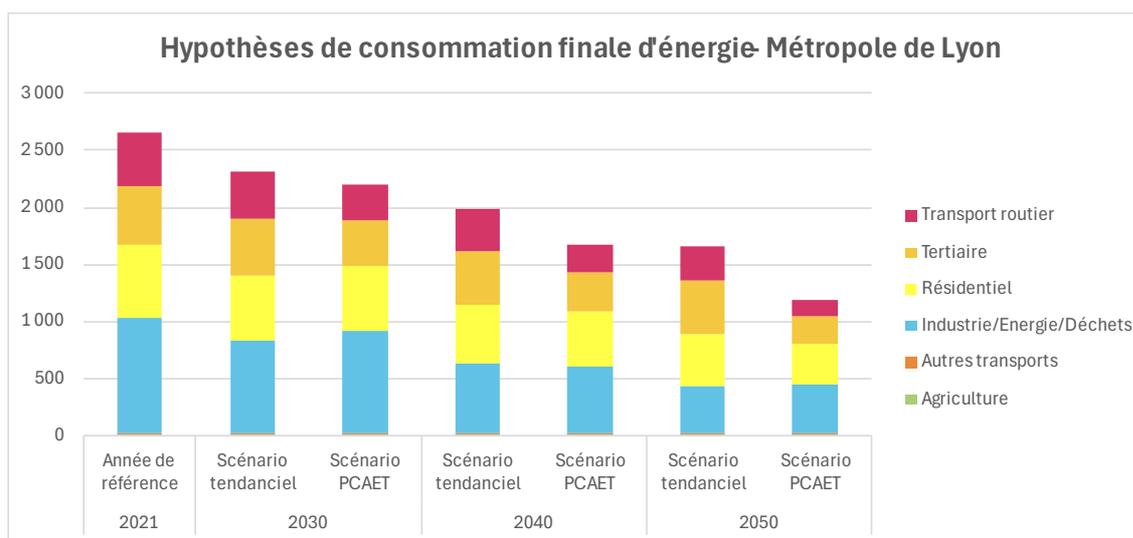
### 2.3.1. Hypothèses générales

Les **émissions de l'année de référence 2021** sont issues de la version 2024 de l'inventaire d'Atmo Auvergne-Rhône-Alpes.

Les **facteurs d'émissions énergétiques prospectifs** sont issus par défaut des projections nationales CITEPA AME V2023. Des facteurs d'émissions prospectifs locaux ont été calculés pour le transport routier, ainsi que pour le chauffage individuel au bois (secteurs détaillés plus loin). Concernant les facteurs d'émissions relatifs aux gaz à effet de serre (communs aux scénarios tendanciel et PCAET) :

- La **part d'agrocarburants et de biogaz** a été fournie par ECOVIA : elle impacte le calcul des émissions de CO<sub>2</sub> d'origine non-biomasse (retenu par convention pour le calcul de l'indicateur GES),
- Le **contenu CO<sub>2</sub> moyen de l'électricité** est issu du scénario M1 de RTE (cf : <https://rte-futursenergetiques2050.com/scenarios/m1>), scénario moyen de décarbonation selon la trajectoire de référence, passant de 38,7 gCO<sub>2</sub>/kWh en 2019 à 2,6 gCO<sub>2</sub>/kWh en 2050.

Les émissions locales non énergétiques sont projetées selon leur évolution nationale (cela concerne essentiellement les COVNM et les GES fluorés).



**Figure 6 : Evolution de la consommation énergétique par secteur, comparaison des 2 scénarios**

L'évolution des consommations énergétiques a également été évaluée et projetée selon les 2 scénarios tendanciel et action du PCAET, visible sur la figure suivante. Dans les 2 scénarios, les consommations d'énergie diminuent jusqu'en 2050 par rapport à 2021, et les consommations attendues dans le scénario PCAET sont plus faibles que dans le scénario tendanciel, tous secteurs confondus. Une réduction de 55% des consommations totales depuis 2021 est prévue dans le scénario PCAET, contre 38% dans le scénario tendanciel.

### **Territorialisation des émissions**

Les hypothèses utilisées pour la projection des émissions (consommations, activités, facteurs d'émissions) n'étant pour la plupart d'entre elles disponibles qu'à la maille métropolitaine, les coefficients d'évolution des émissions estimés par activité et vecteur énergétique par rapport à 2021 sont appliqués uniformément sur l'ensemble des communes. Seules les émissions du trafic routier bénéficient d'une spatialisation détaillée grâce au modèle trafic MODEL Y qui modélise les trafics à l'échelle du tronçon routier.

### **Pouvoir de Réchauffement Global à 100 ans**

Les émissions de GES du panier Kyoto sont exprimées en teqCO<sub>2</sub> par application des pondérations suivantes, selon les hypothèses issues du 5<sup>ème</sup> rapport du GIEC :

- CH<sub>4</sub> : 28
- N<sub>2</sub>O : 265
- HFC : 138 à 12400 selon les sous-composés
- PFC : 6630 à 11100 selon les sous-composés
- SF<sub>6</sub> : 23500
- NF<sub>3</sub> : 16100

## **2.3.2. Projections énergétiques relatives au scénario tendanciel**

En l'absence de projections locales de consommations d'énergie disponibles pour le scénario tendanciel, une prolongation de la tendance observée sur la Métropole de Lyon a été retenue :

- Par macro-secteur d'activité : résidentiel, tertiaire, industrie, transports non routiers, agriculture,

- Par vecteurs énergétiques principaux : gaz, électricité, fioul domestique, GPL, biomasse, charbon et autres combustibles
- Sur la période 2018-2022 sauf pour les transports (période 2015-2019) car les niveaux de trafic 2022 sont inférieurs à ceux de la période Pré COVID, donc non représentatifs d'une évolution annuelle moyenne sur les dernières années.

L'évolution éventuelle des facteurs d'émissions a été considérée comme identique à celle du scénario PCAET (exception faite pour le transport routier et le chauffage individuel au bois décrits plus loin).

### 2.3.3. Hypothèses spécifiques pour le transport routier

Le transport routier a fait l'objet d'une modélisation fine en lien avec les travaux réalisés dans le cadre de la Zone à Faibles Emissions (ZFE) et du Plan de Mobilité (PDM).

#### Scénario tendanciel :

- Distances parcourues :
  - o Evolution par types de véhicules (VP, VUL, PL, TC, ...) selon les projections nationales AME (scénario énergie-climat-air « avec mesures existantes »)
  - o Spatialisation par axe selon la modélisation trafic tendancielle 2040 fournie dans le cadre du Plan de Mobilité (PDM) de la Métropole de Lyon
- Caractérisation du parc roulant :
  - o Evolution selon les hypothèses par carburation fournies par ECOVIA
  - o Renforcement de la ZFE-m actuelle : interdiction en 2028 des vignettes Crit'Air 2+ sur le périmètre central et Crit'Air 3+ sur les Voies Rapides Urbaines (VRU)

#### Scénario PCAET :

- Distances parcourues :
  - o Evolution par types de véhicules (VP, VUL, PL, TC, ...) selon les hypothèses fournies par ECOVIA
  - o Spatialisation par axe selon la modélisation trafic issue du PDM 2040
- Caractérisation du parc roulant :
  - o Evolution selon les hypothèses par carburation fournies par ECOVIA
  - o Renforcement de la ZFE-m actuelle : interdiction en 2028 des vignettes Crit'Air 2+ sur le périmètre central et Crit'Air 3+ sur les VRU

Le graphe suivant illustre l'évolution des distances parcourues selon ces deux scénarii.

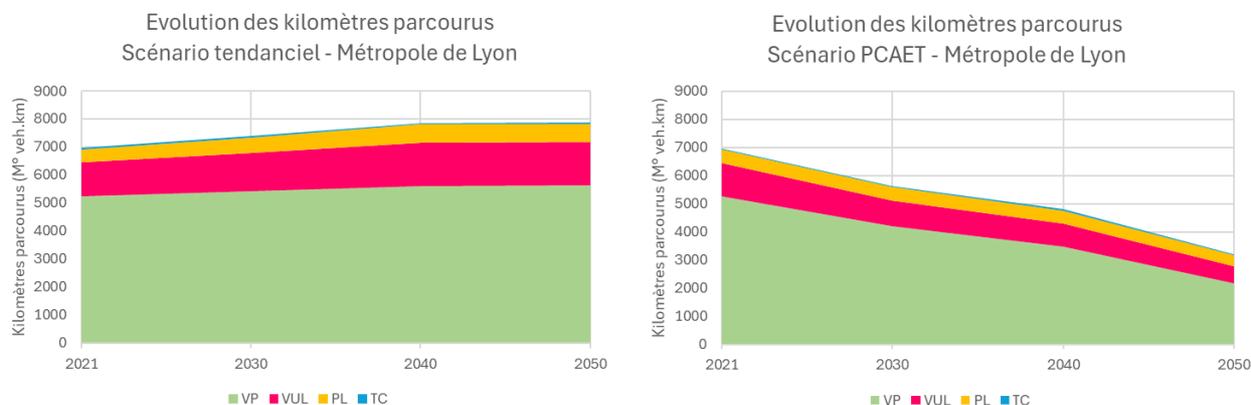


Figure 7 : Evolution des distances parcourues 2021-2050 pour chaque scénario

### 2.3.4. Hypothèses spécifiques au chauffage individuel au bois

Le chauffage individuel au bois a fait l'objet d'une modélisation fine étant donné sa contribution importante dans les émissions de particules fines.

#### Scénario tendanciel :

- Prolongation de l'évolution 2018-2022 des consommations de biomasse
- Interdiction des foyers ouverts avec un taux de respect de 75%
- Evolution du facteur d'émission par polluant par modélisation d'un parc d'appareils selon le renouvellement tendanciel (hypothèses nationales CITEPA) auquel s'ajoute l'interdiction indiquée ci-dessus. La caractérisation des appareils neufs entrant dans le parc est calée sur les ventes nationales 2023 (source Observ'Er)

#### Scénario PCAET :

- Evolution de la consommation de biomasse dans le secteur résidentiel fournie par le bureau d'études ECOVIA
- Interdiction des foyers ouverts avec un taux de respect de 75%
- Interdiction en 2028 de l'usage des appareils anciens installés avant 2005 avec un taux de respect de 50% : ces appareils sont remplacés par des appareils performants de même typologie
- Evolution du facteur d'émission par polluant par modélisation d'un parc d'appareils selon le renouvellement tendanciel (hypothèses nationales CITEPA) auquel s'ajoutent les interdictions indiquées ci-dessus ainsi que 5000 Primes Air Bois instruites sur la période 2021-2030

### 2.3.5. Hypothèses sur les principaux émetteurs industriels

Les principaux émetteurs industriels n'ont pas eu la capacité de fournir des projections d'émissions de polluants à effet sanitaire. En revanche des objectifs de réduction des émissions de CO<sub>2</sub> ont pu être identifiés en lien avec la neutralité carbone visée à horizon 2050. Par conséquent, les hypothèses suivantes ont été appliquées :

- Un regroupement d'industriels s'est accordé sur des objectifs de réduction de GES à horizon 2050, au sein du projet DECLYC, dans le cadre de la ZiBaC (Zone industrielle Bas Carbone) de la vallée de la chimie. Seize entreprises (dont 3 hors secteur de la métropole de Lyon) font partie de ce projet, qui vise à réduire les émissions de CO<sub>2</sub> de 40% d'ici 2030 et de 80% d'ici 2050. Nous avons appliqué ces coefficients d'abattement sur les émissions actuelles de CO<sub>2</sub>, avec un abattement intermédiaire de 40% à horizon 2030.
- Dans les autres cas, l'une des hypothèses suivantes a été retenue pour modéliser les émissions 2030 :
  - o Lorsque la corrélation entre évolution des émissions historiques de CO<sub>2</sub> et de polluants locaux était bonne, les facteurs d'abattement CO<sub>2</sub> ont été appliqués à ces polluants par régression linéaire.
  - o Dans les autres cas :
    - Emissions 2030 : le ratio (moyenne des émissions 2021-2023)/(émissions 2021) a été appliqué aux émissions 2021 dans la limite de -10%/+10%
    - Les émissions 2040 et 2050 ont été déduites des émissions 2030 sur la base d'une diminution de 1%/an à dire d'expert.

### 2.3.6. Prise en compte des actions du PPA 2027

En complément des hypothèses indiquées plus haut, les actions du PPA ont été reprises dans la modélisation des émissions (scénario tendanciel et PCAET), en particulier :

- Diminution de 15% de l'usage de solvants dans le secteur résidentiel,
- Diminution de 50% des brûlages de déchets verts (résidentiel et agriculture),
- Réduction des émissions de particules issues des chantiers BTP et des carrières,
- Diminution des émissions liées à la navigation fluviale suite à l'électrification des appontements.

### 2.3.7. Hypothèses spécifiques aux GES fluorés

Du fait de la présence de producteurs de GES fluorés sur la Métropole de Lyon, une projection des émissions de GES fluorés a été réalisée en complément des 3 principaux GES. En l'absence d'hypothèses prospectives sur ces industriels, ou locales sur les autres secteurs émissifs (notamment réfrigération et production de froid), les projections nationales CITEPA AME V2023 à horizon 2050 ont été appliquées aux émissions 2021 de la Métropole de Lyon. Elles tiennent compte de l'évolution de la réglementation F-Gas en 2024 qui prévoit l'interdiction des HFC au PRG>150 en 2030.

# 3. Analyse des résultats en émissions

## 3.1. Emissions de PM2.5

Le graphique suivant présente l'évolution des émissions de PM2.5 par an, tous secteurs confondus, sur le territoire de la métropole de Lyon, depuis 2005. Sont également présentées les perspectives d'émissions, selon les 2 scénarii pour les années 2030, 2040 et 2050, ainsi que les objectifs PREPA et PPA.

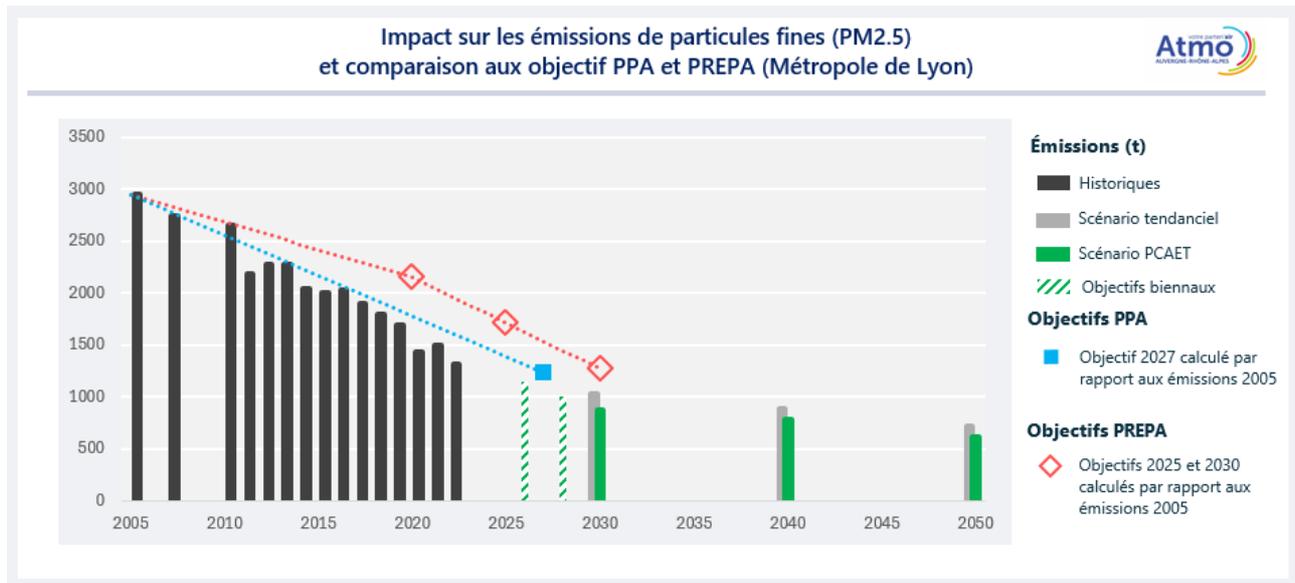


Figure 8 : Evolution des émissions de PM2.5 depuis 2005 par rapport aux objectifs

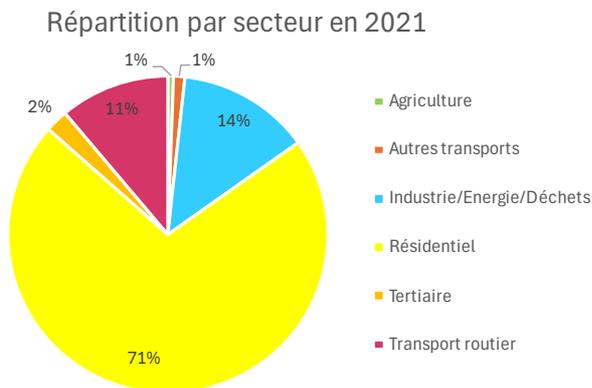


Figure 9 : Répartition des émissions de PM2.5 par secteur en 2021 sur le territoire

Depuis 2005, les émissions de PM2.5 connaissent une diminution progressive, principalement grâce au renouvellement des appareils de chauffage au bois individuels, soutenu par le Fonds Air Bois. De plus, des hivers de plus en plus doux contribuent à réduire la consommation de bois et les émissions associées. Les objectifs PREPA et PPA sont ainsi à ce jour respectés, ainsi que dans les projections tendancielles et PCAET. Le Fonds Air Bois complémentaire, tel que modélisé dans le scénario PCAET, permet d'accentuer cette baisse par rapport au scénario tendanciel. Sur la période 2021-2030, une

baisse de 34% est attendue dans le scénario PCAET, contre 21% pour le scénario tendanciel. Cette baisse est essentiellement liée aux efforts réalisés dans le secteur résidentiel, qui est de loin le secteur le plus émetteur, avec 72% de contribution aux émissions totales. Changer les modes de chauffage individuels et collectifs est une mesure primordiale pour réduire les émissions du secteur résidentiel, en privilégiant une meilleure isolation des bâtiments ainsi que des modes de chauffage plus performants et moins consommateurs d'énergie, tout en limitant les appareils de chauffage au bois non performants les plus émetteurs.

## 3.2. Emissions de PM10

Le graphique suivant présente l'évolution des émissions de PM10 par an, tous secteurs confondus, sur le territoire de la métropole de Lyon, depuis 2005. Sont également présentées les perspectives d'émissions, selon les 2 scénarii pour les années 2030, 2040 et 2050.

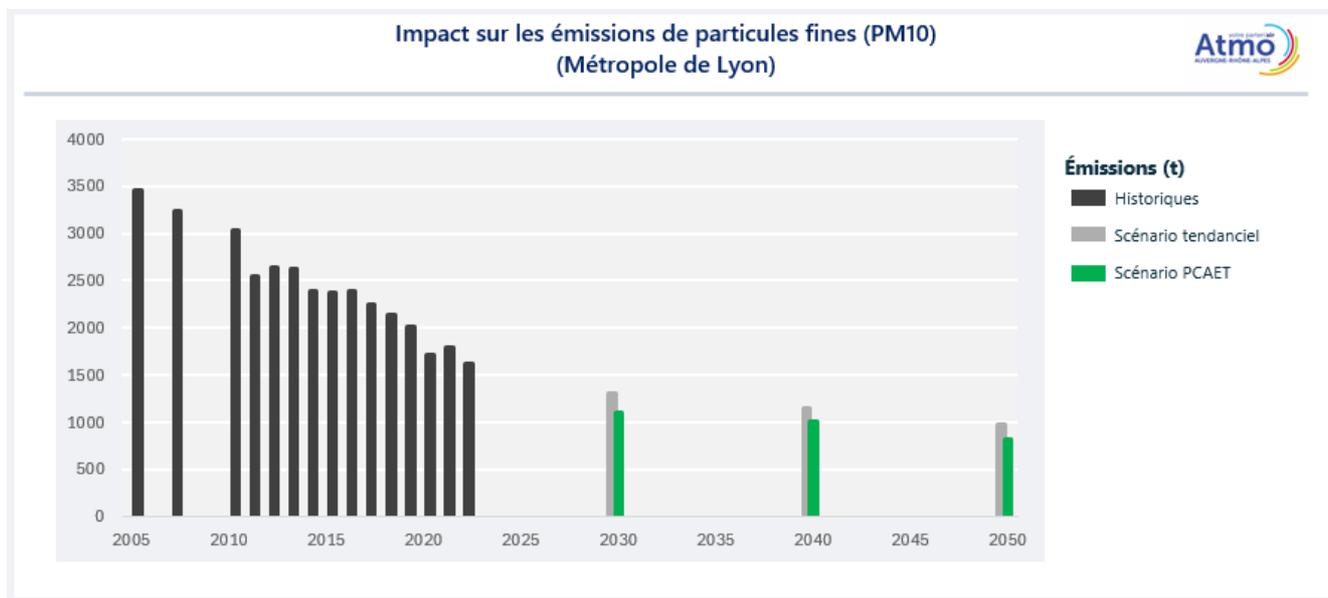


Figure 10 : Evolution des émissions de PM10 depuis 2005 par rapport aux objectifs

Répartition par secteur en 2021

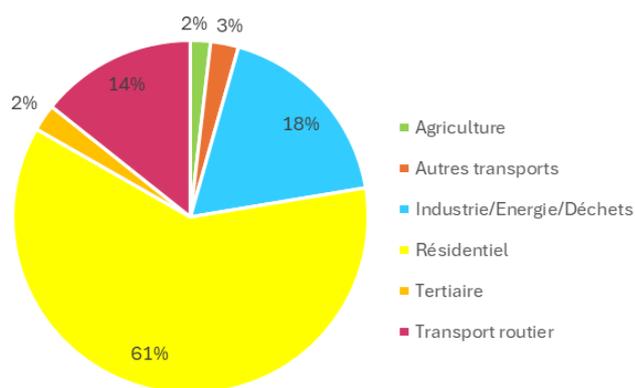


Figure 11 : Répartition des émissions de PM10 par secteur en 2021 sur le territoire

principalement liées au secteur résidentiel et aux actions associées (isolation et renouvellement du parc d'appareils).

Les émissions de PM10 suivent une tendance similaire à celles des PM2.5 et diminuent essentiellement grâce à la maîtrise et la mise en œuvre de mesures relatives aux appareils individuels de chauffage au bois.

Concernant les PM10, il n'y a pas d'objectif de réduction PREPA, ni PPA définis pour les années passées ou à venir. On observe cependant des tendances de baisses significatives pour les années à venir grâce aux objectifs de réduction fixés pour les PM2.5.

Par rapport à 2021, une baisse de 32% est attendue en 2030 dans le scénario PCAET, contre 20% pour le scénario tendanciel. Ces baisses sont

### 3.3. Emissions de NOx

Le graphique suivant présente l'évolution des émissions de NOx par an, tous secteurs confondus, sur le territoire de la métropole de Lyon, depuis 2005. Sont également présentées les perspectives d'émissions, selon les 2 scénarii pour les années 2030, 2040 et 2050, ainsi que les objectifs PREPA et PPA.

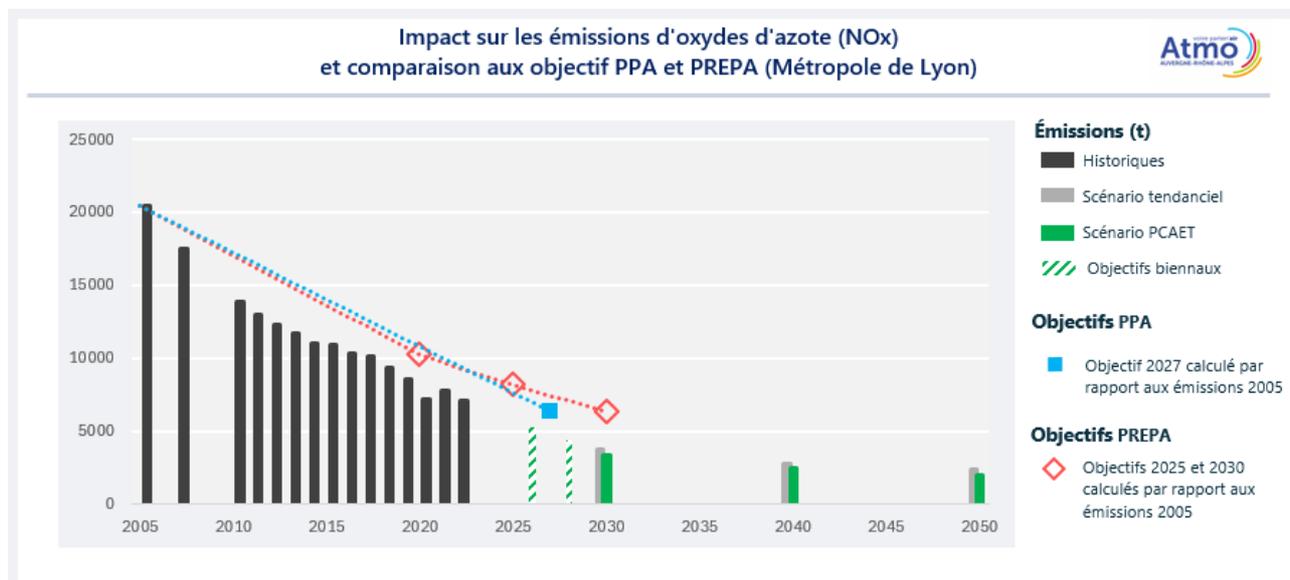


Figure 12 : Evolution des émissions de NOx depuis 2005 par rapport aux objectifs

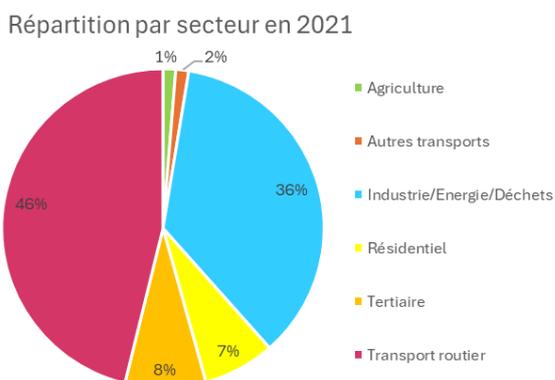


Figure 13 : Répartition des émissions de NOx par secteur en 2021 sur le territoire

Le territoire de la métropole de Lyon a enregistré une baisse significative des émissions de NOx, principalement grâce à la maîtrise des distances parcourues, à l'abaissement des vitesses sur les Voies Rapides Urbaines, ainsi qu'au renouvellement du parc de véhicules, accéléré par la mise en place de la ZFE-m dans le périmètre central de la Métropole. Cette initiative favorise également l'électrification rapide du parc automobile. Les objectifs des plans PREPA et PPA sont respectés d'ici à 2030, en grande partie grâce à un report modal significatif vers des modes de déplacements moins émissifs et les émissions projetées d'ici 2050 sont très faibles. Par rapport à

2021, une baisse de 52% est attendue en 2030 dans le scénario tendanciel, contre 56% pour le scénario PCAET, soit une réduction de plus de la moitié des émissions actuelles. Le secteur routier, responsable à 46% des émissions de NOx, tend à largement baisser ses émissions, en mettant en œuvre les actions du Plan de Mobilité de la métropole dans les années à venir. La baisse significative attendue des émissions de NOx sur le territoire sera particulièrement pertinente le long des principaux axes routiers de la ville et du périurbain, où les concentrations de NOx sont les plus importantes.

### 3.4. Emissions de COVNM

Le graphique suivant présente l'évolution des émissions de COVNM par an, tous secteurs confondus, sur le territoire de la métropole de Lyon, depuis 2005. Sont également présentées les perspectives d'émissions, selon les 2 scénarii pour les années 2030, 2040 et 2050, ainsi que les objectifs PREPA et PPA.

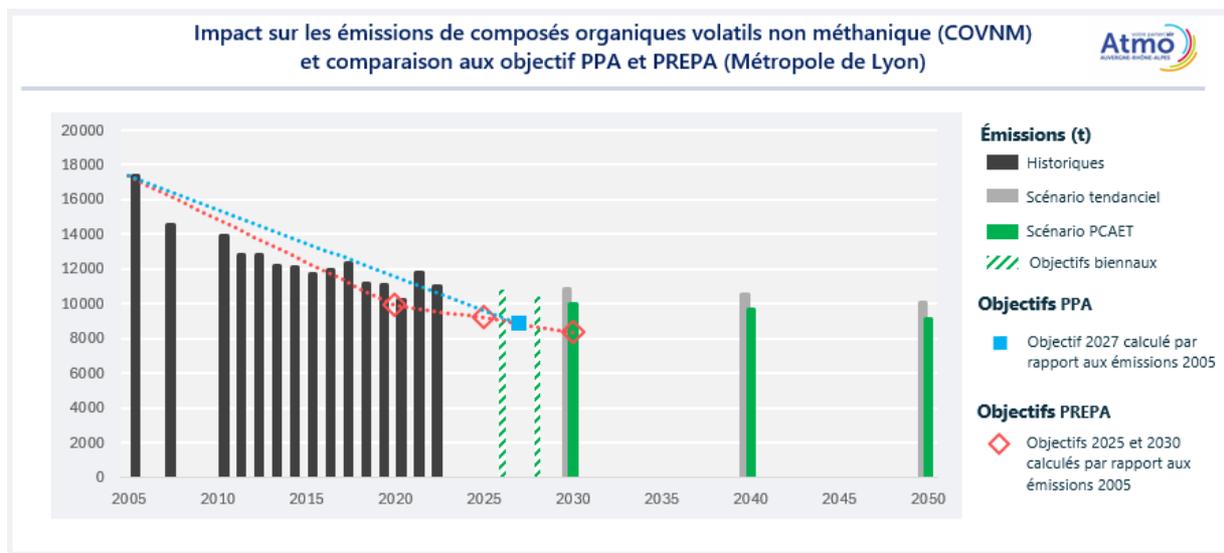


Figure 14 : Evolution des émissions de COVNM depuis 2005 par rapport aux objectifs

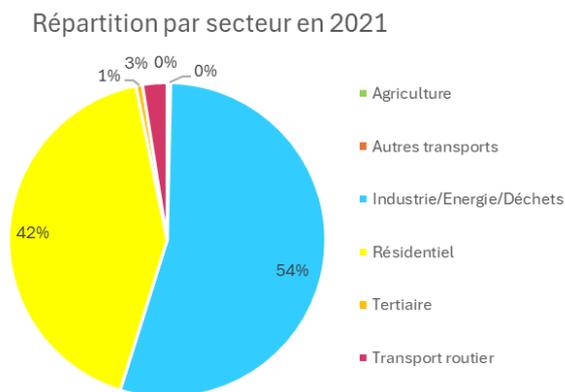


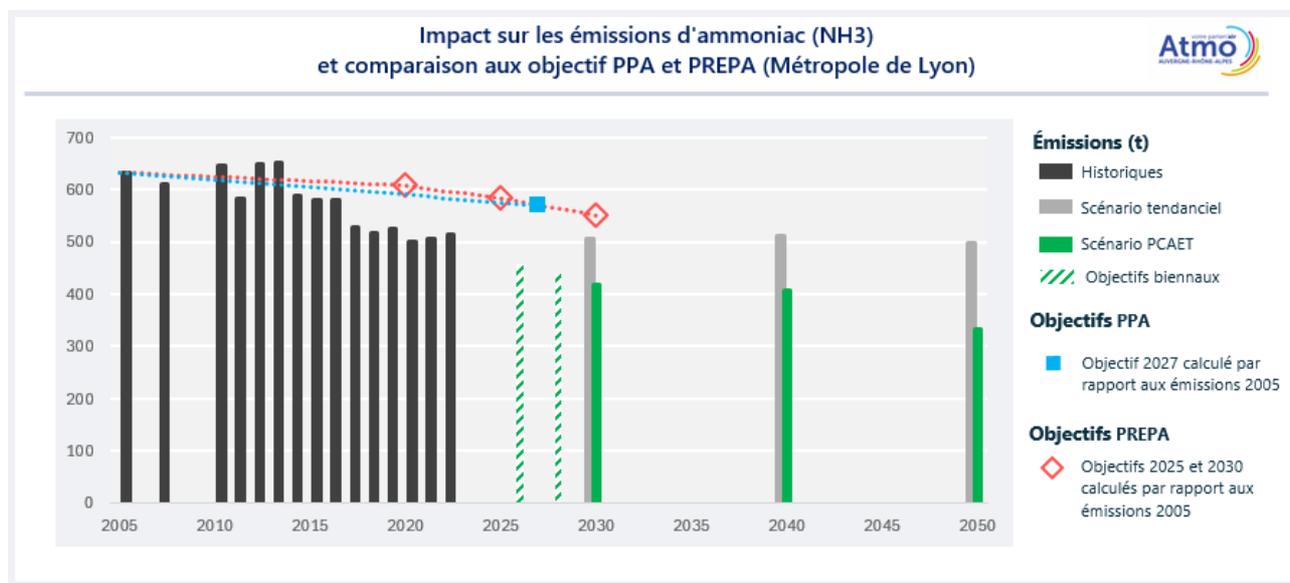
Figure 15 : Répartition des émissions de COVNM par secteur en 2021 sur le territoire

La diminution des émissions de COVNM sur les années passées sont insuffisantes pour atteindre les objectifs de réduction PREPA et PPA : les objectifs du PREPA n'ont pas été atteints en 2020 en raison d'une réduction insuffisante des émissions, notamment dans le secteur industriel. A noter qu'en dehors du parc d'appareils de chauffage au bois individuel, un grand nombre de leviers d'action relèvent de mesures nationales, notamment dans le secteur résidentiel/tertiaire (teneurs en solvants dans les peintures...).

De nouvelles baisses sont prévues d'ici 2030 par rapport à 2021, comprises entre 1% dans le scénario tendanciel et 9% dans le scénario PCAET. Le renouvellement accéléré du parc d'appareils de chauffage au bois du scénario PCAET permet d'amplifier significativement la baisse modélisée pour le scénario tendanciel. Pour atteindre les objectifs de réductions nationaux attendus, et ainsi observer des baisses plus significatives d'émissions, des efforts supplémentaires devront être fournis, notamment dans le secteur industriel qui contribue pour près de la moitié des émissions de COVNM du territoire.

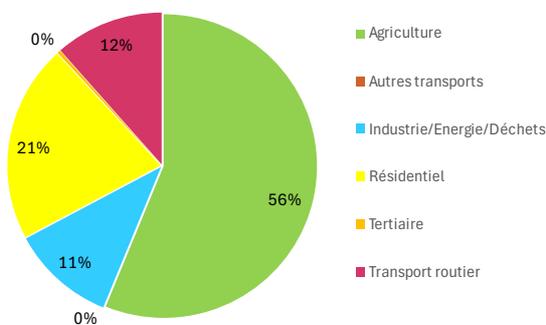
### 3.5. Emissions de NH<sub>3</sub>

Le graphique suivant présente l'évolution des émissions de NH<sub>3</sub> par an, tous secteurs confondus, sur le territoire de la métropole de Lyon, depuis 2005. Sont également présentées les perspectives d'émissions, selon les 2 scénarii pour les années 2030, 2040 et 2050, ainsi que les objectifs PREPA et PPA.



**Figure 16 : Evolution des émissions de NH<sub>3</sub> depuis 2005 par rapport aux objectifs**

Répartition par secteur en 2021



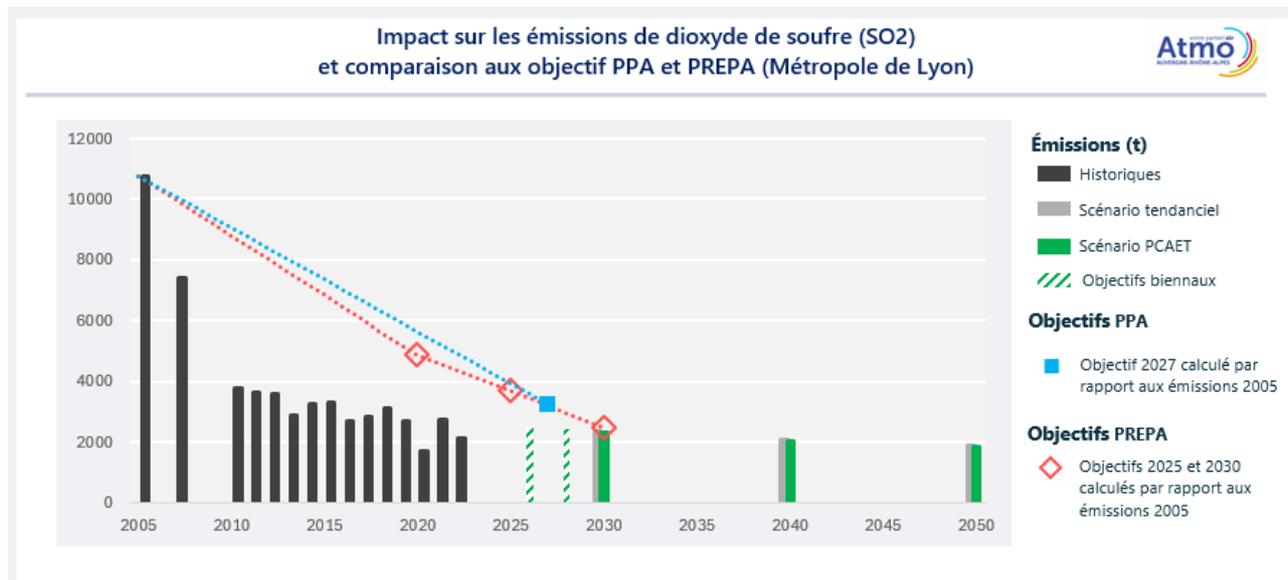
**Figure 17 : Répartition des émissions de NH<sub>3</sub> par secteur en 2021 sur le territoire**

La diminution des émissions de NH<sub>3</sub> observée depuis 2013 est principalement due à la réduction des surfaces agricoles cultivées. Cela entraîne notamment une moindre utilisation d'intrants azotés pour les cultures sur le territoire. Les objectifs des plans PREPA et PPA sont ainsi respectés. La moindre utilisation des intrants azotés est également liée à une conversion vers l'agriculture biologique plus importante dans le scénario PCAET.

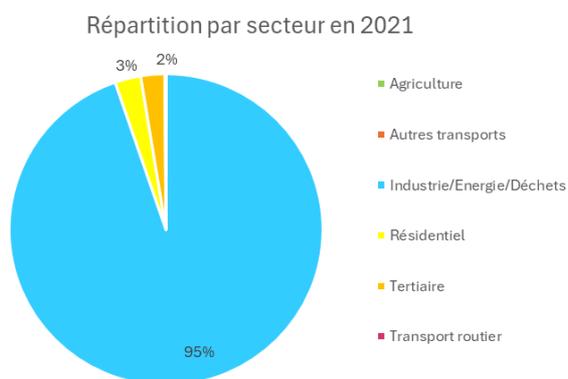
Une forte différence est prévue entre les 2 scénarii sur les émissions attendues de NH<sub>3</sub> : une valeur d'émissions quasiment constante entre 2021 et 2030 selon le scénario tendanciel, et une diminution sur cette même période de 21% selon le scénario PCAET qui prévoit des mesures de réduction des intrants azotés importantes dans le secteur agricole, qui est le principal contributeur des émissions de NH<sub>3</sub> avec 57% de contribution aux émissions totales.

### 3.6. Emissions de SO<sub>2</sub>

Le graphique suivant présente l'évolution des émissions de SO<sub>2</sub> par an, tous secteurs confondus, sur le territoire de la métropole de Lyon, depuis 2005. Sont également présentées les perspectives d'émissions, selon les 2 scénarii pour les années 2030, 2040 et 2050, ainsi que les objectifs PREPA et PPA.



**Figure 18 : Evolution des émissions de SO<sub>2</sub> depuis 2005 par rapport aux objectifs**



**Figure 19 : Répartition des émissions de SO<sub>2</sub> par secteur en 2021 sur le territoire**

Entre 2005 et 2010, une forte diminution des émissions a été observée sur les émissions de SO<sub>2</sub>, principalement en raison de la réduction de la teneur en soufre des carburants et de l'utilisation de combustibles moins soufrés dans l'industrie. Le secteur industriel est le plus grand contributeur aux émissions de SO<sub>2</sub> avec trois quarts des émissions, ce qui porte à 95% la part du secteur cumulé industrie - énergie - déchets des émissions totales du territoire.

Les objectifs PREPA et PPA ont été respectés en 2020, en lien avec l'évolution du mix énergétique. Les efforts de réduction sont à maintenir, car même si une baisse de 15% est attendue selon les 2 scénarii en 2030

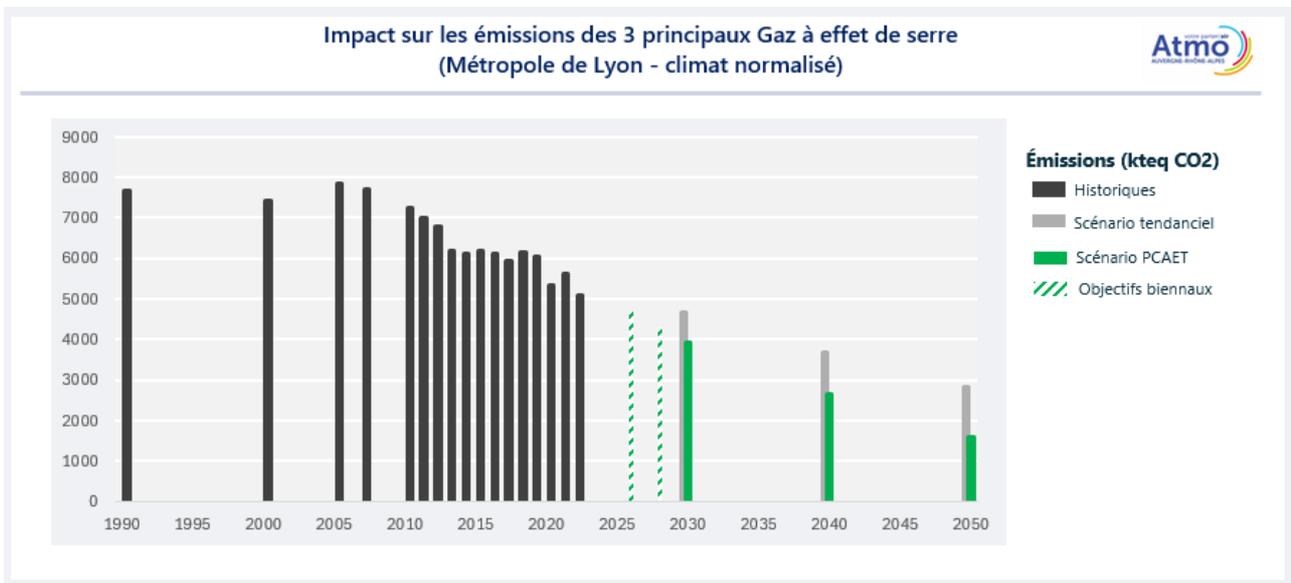
par rapport à 2021, les émissions projetées en 2030 sont proches de l'objectif PREPA. L'objectif PPA à horizon 2027 est en revanche respecté. Il est donc primordial que les secteurs industriel, énergétique et des déchets poursuivent leurs efforts en ayant notamment recours à des combustibles moins soufrés.

### 3.7. Emissions de GES

L'analyse suivante des émissions de GES porte sur deux périmètres :

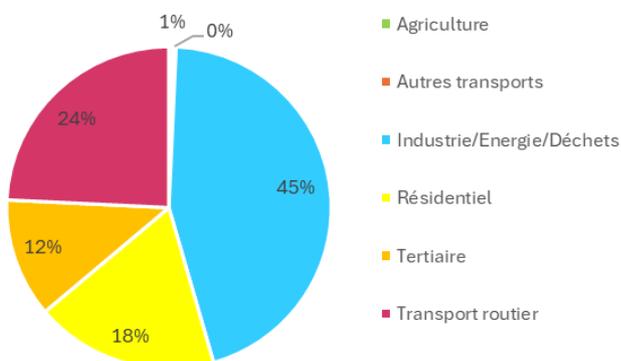
- Principaux GES (CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub> et N<sub>2</sub>O) représentant 93% des GES émis (en équivalent CO<sub>2</sub>) sur la Métropole de Lyon en 2021 pour lesquels l'historique des émissions est disponible depuis 1990.
- Ensemble des 7 GES du « panier Kyoto » comprenant, en plus des GES cités plus haut, les GES fluorés selon quatre familles : les HFC, SF<sub>6</sub>, PFC et NF<sub>3</sub> (ces deux derniers n'étant pas émis sur la Métropole de Lyon). L'analyse porte sur la période 2010-2050, étant donné que la modélisation des GES fluorés n'est actuellement pas disponible avant 2010.

Le graphique suivant présente l'évolution des émissions des 3 principaux GES depuis 1990, ainsi que les projections pour les années 2030, 2040 et 2050.



**Figure 20 : Evolution des émissions des 3 principaux GES depuis 1990**

Répartition par secteur en 2021

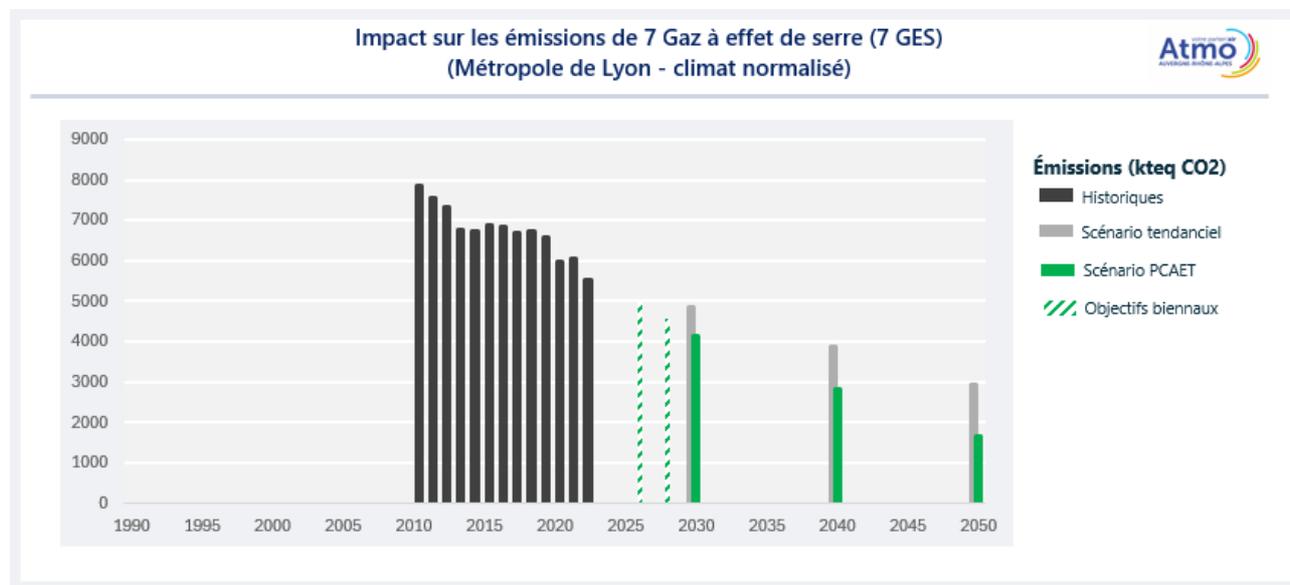


Pour les principaux GES, on observe que le secteur industrie/énergie/déchets est le principal émetteur sur le territoire, représentant près de la moitié des émissions. Le transport routier est le second poste émetteur (près d'un quart des émissions).

Les émissions de GES diminuent fortement entre 1990 et 2050 avec les actions du PCAET (-79%), alors que le scénario tendanciel ne permet qu'une baisse de 63%.

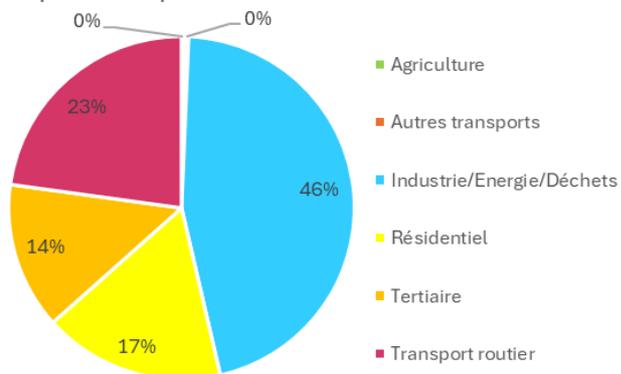
**Figure 21 : Répartition des émissions des 3 principaux GES par secteur en 2021 sur le territoire**

Le graphique suivant présente l'évolution annuelle des émissions de l'ensemble des 7 GES, comprenant donc les GES fluorés, tous secteurs confondus, sur le territoire de la métropole de Lyon, depuis 2010. Sont également présentées les prospectives d'émissions, selon les 2 scénarii pour les années 2030, 2040 et 2050.



**Figure 22 : Evolution des émissions des 7 GES depuis 2010**

#### Répartition par secteur en 2021



La répartition sectorielle des émissions 2021 est peu impactée par l'ajout des GES fluorés. La diminution des émissions entre 2021 et 2050 avec les actions du PCAET est de 72% (avec ou sans GES fluorés). En revanche la diminution tendancielle des émissions est un peu plus marquée pour les 7 GES (-52%) que sans GES fluorés (-49%) du fait qu'il n'y a pas d'hypothèses sur les GES fluorés propres au scénario PCAET.

**Figure 23 : Répartition des émissions des 7 GES par secteur en 2021 sur le territoire**

### 3.8. Analyse par macro-secteur d'activités

L'analyse par macro-secteurs d'activités sur les 6 polluants principaux justifie la nécessité d'un plan d'actions multisectoriel.



**Figure 24 : Evolution sectorielle des émissions de polluants à effet sanitaire selon 2 scénarii**

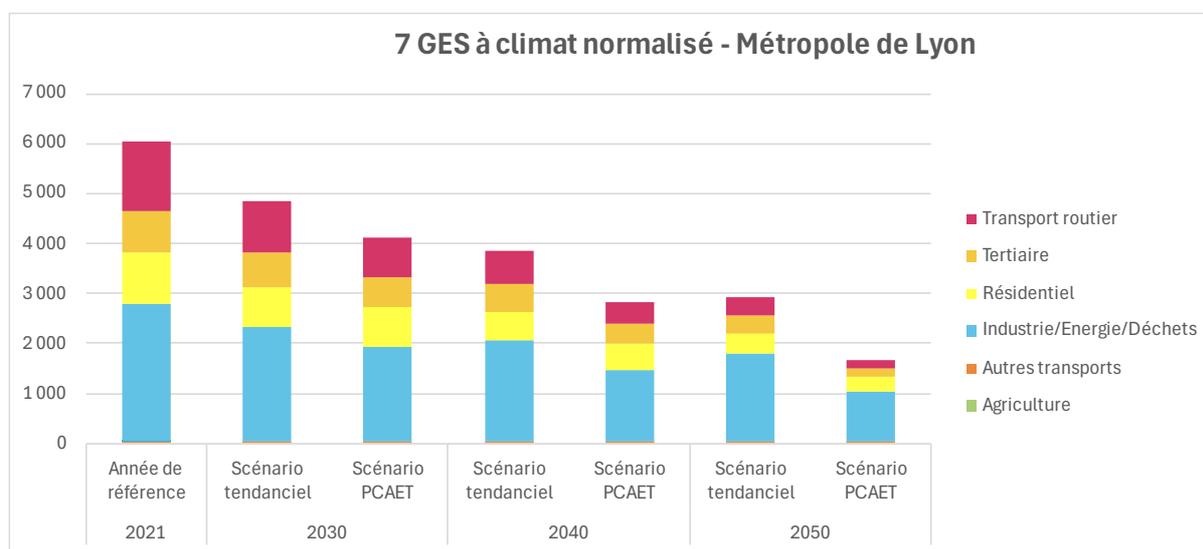
La mise en œuvre des actions du plan de mobilité intégré au PCAET permet d'amplifier la baisse des émissions routières, essentiellement pour les particules fines et les NOx. Ces diminutions sont essentiellement engendrées par une forte diminution des distances parcourues par le transport routier de personnes et de marchandises.

Dans le secteur résidentiel/tertiaire, on observe une diminution importante des émissions de PM10 et PM2.5 ainsi qu'une baisse des émissions de COVNM. Ces réductions sont essentiellement liées aux actions concernant le chauffage individuel au bois dans le scénario PCAET : accélération du renouvellement du parc d'appareils individuel de chauffage au bois en lien avec la poursuite du Fonds Air Bois et interdiction d'utilisation des appareils anciens à partir de 2028.

Le secteur industriel connaît quant à lui une baisse moins importante, d'une part en raison des efforts importants déjà consentis depuis de nombreuses d'années (en lien avec les réglementations sur les émissions de polluants atmosphériques) et d'autre part par manque de visibilité sur les actions des industriels dans les années à venir. On note cependant une diminution significative des émissions de NOx (le plus souvent corrélées à la combustion d'énergies fossiles), et dans une moindre mesure des émissions de particules et de SO<sub>2</sub>. La diminution néanmoins modélisée témoigne d'une volonté de décarbonation du mix énergétique et de la poursuite de la baisse d'utilisation de combustibles soufrés.

Enfin dans le secteur agricole, une réduction significative des émissions de NH<sub>3</sub> est prévue selon le scénario PCAET d'ici 2050, en lien avec le développement de l'agriculture biologique et la baisse d'utilisation d'intrants azotés.

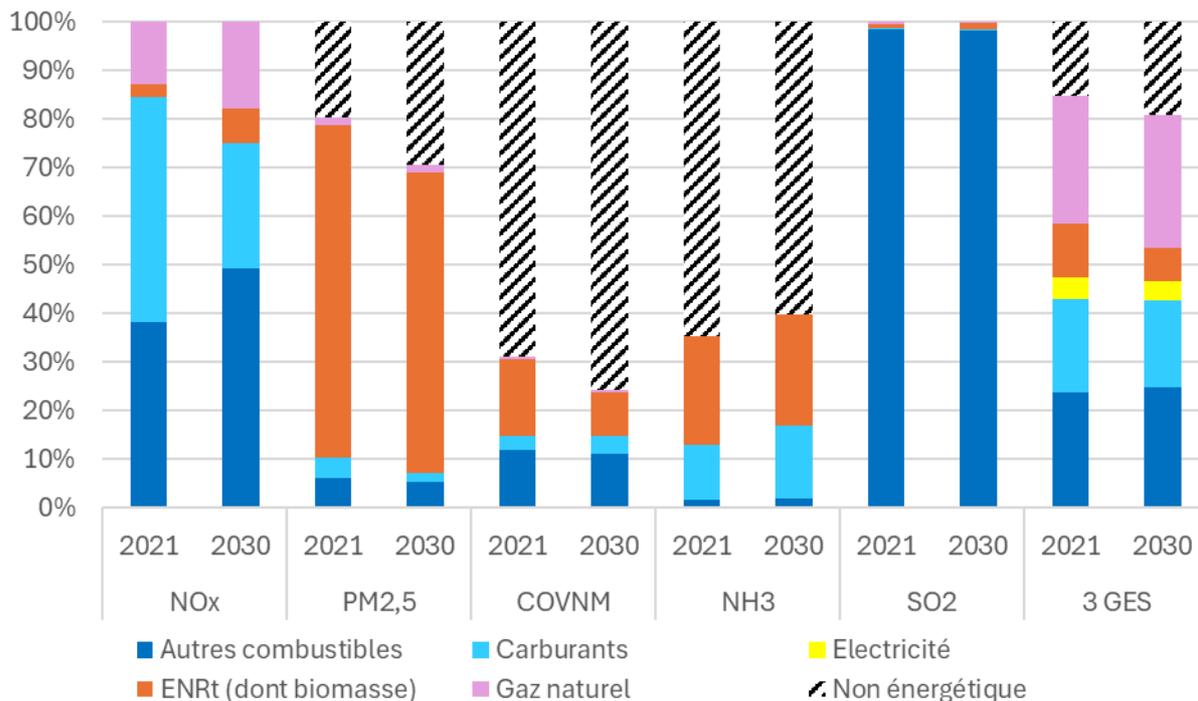
Concernant l'évolution des émissions des 7 GES sur le territoire, la diminution est observée dans tous les secteurs d'activités. On note toutefois que la diminution de la part liée au secteur industriel est sensiblement plus importante dans le scénario PCAET, en lien avec le projet ZiBac.



**Figure 25 : Evolution sectorielle des émissions de GES selon les 2 scénarii**

### 3.9. Analyse par vecteur énergétique

L'évolution des émissions par vecteur énergétique, présentée dans la figure ci-dessous, consiste à analyser la répartition des sources d'énergie à l'origine des émissions de chaque polluant.



**Figure 26 : Répartition des émissions par vecteur énergétique selon entre 2021 et le scénario PCAET 2030**

On observe que la part des émissions de NOx liée aux carburants diminue fortement dans le scénario 2030 PCAET, en lien avec l'électrification du parc de véhicules routier et le recul de la part du diesel dans les distances parcourues. La part de la biomasse, quant à elle, diminue significativement entre 2021 et 2030 dans les émissions de PM2.5, COVNM et 3GES, en lien avec la modernisation du parc d'appareils individuels.

Enfin la part des émissions d'origine non énergétique progresse légèrement entre 2021 et 2030 pour les COVNM et les 3 GES, en lien avec l'évolution du mix énergétique vers des énergies moins émettrices de ces composés : les émissions d'origine énergétiques diminuent ainsi plus rapidement que les émissions d'origine non énergétique (abrasion dans les transports, usage de solvants dans le résidentiel et l'industrie...)

## 4. Analyse des résultats en concentrations et expositions

L'impact des actions PCAET sur les concentrations de polluants et l'exposition de la population est calculé uniquement pour l'échéance 2030. Afin d'évaluer l'impact des actions sur les concentrations, deux scénarios correspondant aux scénarios d'émissions précédemment décrits ont été modélisés avec la météo correspondant à l'année de référence (année 2021) :

- Tendanciel 2030 : scénario tendanciel qui prend en compte les émissions 2030 sans mise en œuvre des actions du PCAET avec la météo 2021,
- Scénario PCAET 2030 : scénario avec actions PCAET qui prend en compte les émissions 2030 avec mise en œuvre des actions du PCAET et la météo 2021.

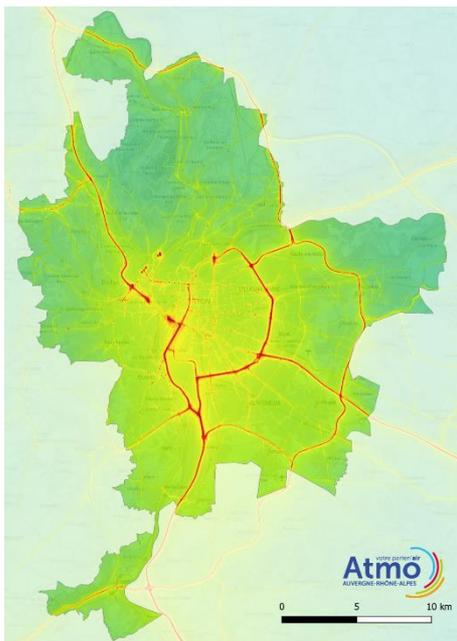
Des cartographies de chacun des scénarios ont été réalisées pour chaque polluant modélisé (NO<sub>2</sub>, PM10 et PM2.5). Ces résultats sont comparés à la situation de référence 2021, issue des cartographies annuelles réglementaires effectuées par Atmo Auvergne-Rhône-Alpes en 2022. Les indicateurs d'exposition associés sont également calculés.

### 4.1. Concentrations et exposition de la population au NO<sub>2</sub>

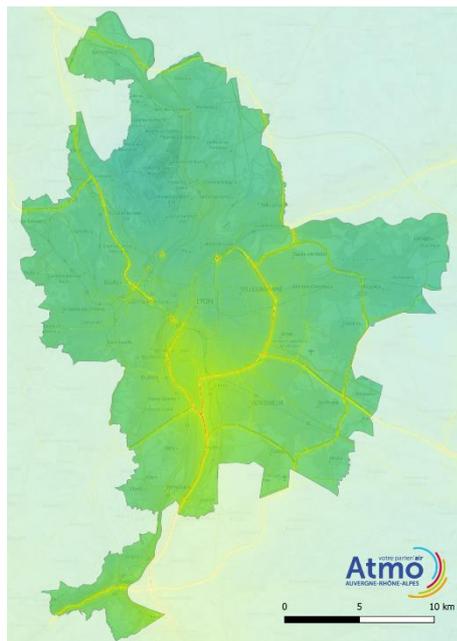
Entre 2021 et 2030, les évolutions tendanciennes des émissions entraînent des baisses importantes des concentrations annuelles de dioxyde d'azote NO<sub>2</sub> modélisées sur la métropole de Lyon. Ces baisses sont de l'ordre de 6 µg/m<sup>3</sup> en situation de fond urbain, de l'ordre de 3 µg/m<sup>3</sup> en situation de fond périurbain et peuvent être supérieures à 10 µg/m<sup>3</sup> en proximité des autoroutes et du périphérique.

Les actions PCAET entraînent des baisses supplémentaires de concentrations de NO<sub>2</sub> par rapport à la situation tendancielle 2030. Ces baisses sont modérées en situation de fond urbain, de l'ordre de 1 µg/m<sup>3</sup> et plus importantes à proximité des axes à fort trafic routier, d'environ 6 µg/m<sup>3</sup> (Figure 27 et Figure 28).

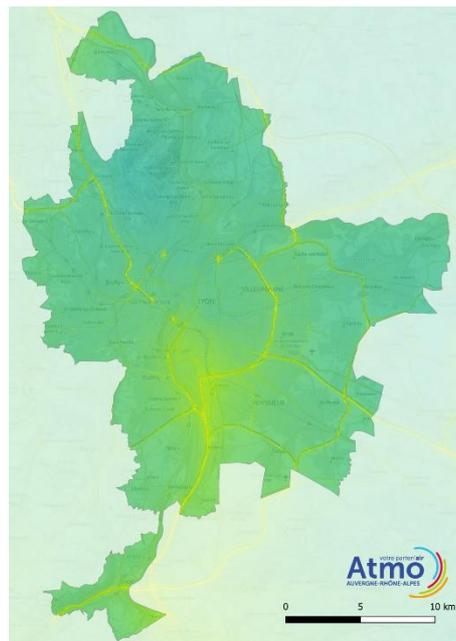
2021 REFERENCE



2030 TENDANCIEL



2030 AVEC ACTIONS PCAET

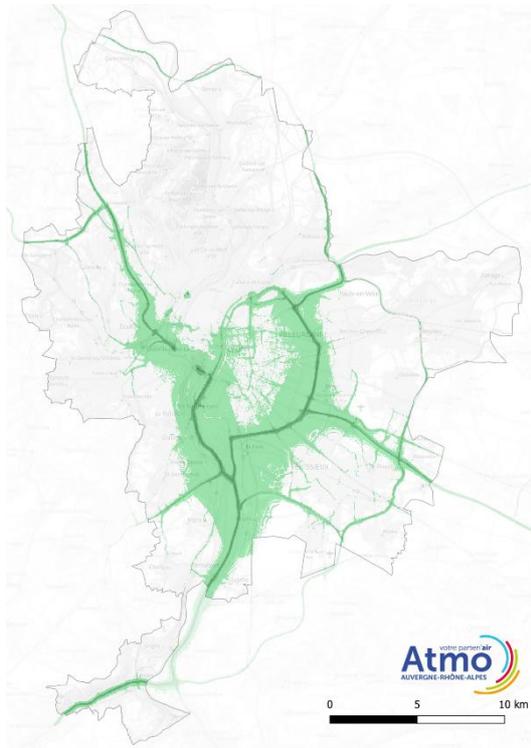


**Figure 27 : Moyennes annuelles des concentrations  $\text{NO}_2$  en  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  modélisées pour les situations de référence 2021, tendancielle 2030 et avec actions PCAET 2030 sur la Métropole de Lyon**

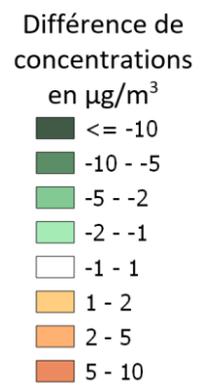
**GAINS DE CONCENTRATIONS NO<sub>2</sub>  
TENDANCIELLES 2021-2030**  
(ENTRE 2021 REFERENCE ET 2030 TENDANCIEL)



**GAINS DE CONCENTRATIONS NO<sub>2</sub> DUES AUX  
ACTIONS PCAET EN 2030**  
(ENTRE 2030 TENDANCIEL ET 2030 AVEC ACTIONS  
PCAET)



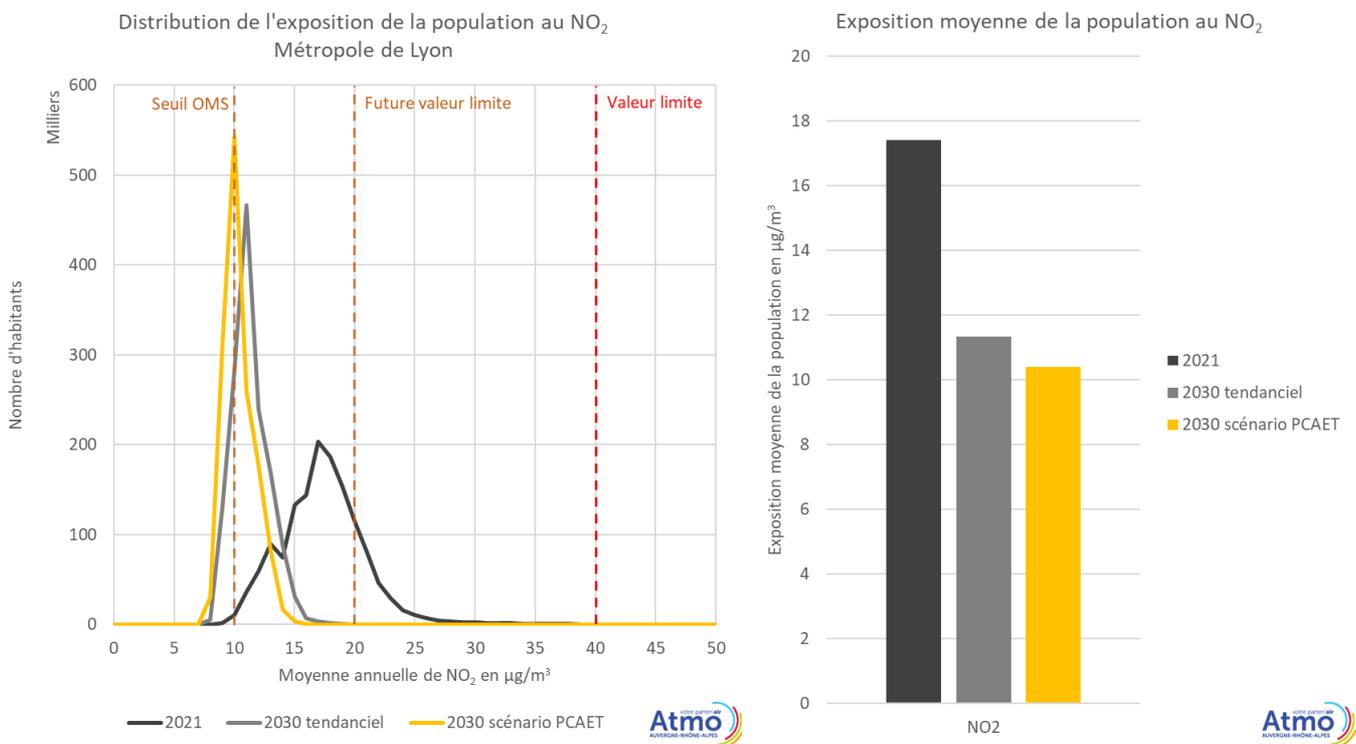
**GAINS DE CONCENTRATIONS NO<sub>2</sub> DU SCENARIO PCAET 2030  
PAR RAPPORT A LA REFERENCE 2021**



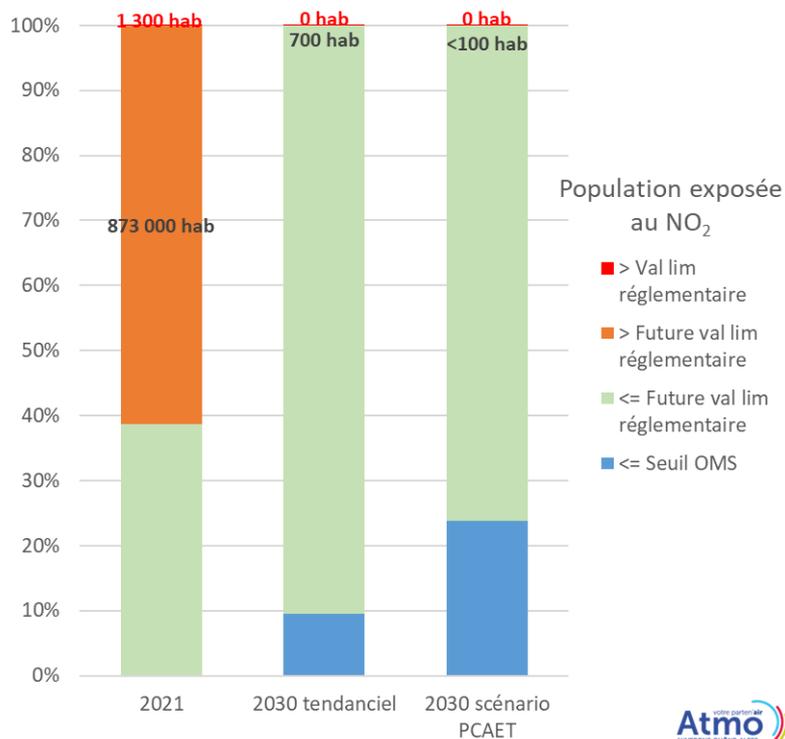
**Figure 28 : Différence des concentrations moyennes annuelles NO<sub>2</sub> en µg/m<sup>3</sup> modélisées entre les situations de référence 2021, tendancielle 2030 et avec actions PCAET 2030 sur la métropole de Lyon**

Les actions PCAET ont un impact significatif sur l'exposition des populations au dioxyde d'azote NO<sub>2</sub> par rapport au tendanciel 2030 (Figure 29). L'exposition moyenne des habitants de la métropole de Lyon diminue tendanciellement entre 2021 et 2030 d'environ un tiers (soit 6 µg/m<sup>3</sup>), et les actions PCAET permettent un gain supplémentaire d'environ 1 µg/m<sup>3</sup>.

En 2021, environ 1 300 habitants de la métropole de Lyon étaient exposés à des dépassements de la valeur réglementaire actuelle (40 µg/m<sup>3</sup>) et près de 900 000 habitants à la future valeur (20 µg/m<sup>3</sup>) pour le NO<sub>2</sub> (Figure 30). A l'horizon 2030 en situation tendanciel, aucun habitant ne serait exposé à la valeur limite actuelle et 700 habitants seraient toujours soumis à un dépassement de la future valeur limite. Ces habitants sont situés aux abords des axes routiers à fort trafic. Les actions PCAET permettraient de faire passer environ 600 habitants sous ce seuil. Elles permettraient également à environ 200 000 habitants de la métropole d'être exposés à des concentrations de NO<sub>2</sub> inférieures à la valeur cible OMS (10 µg/m<sup>3</sup>).

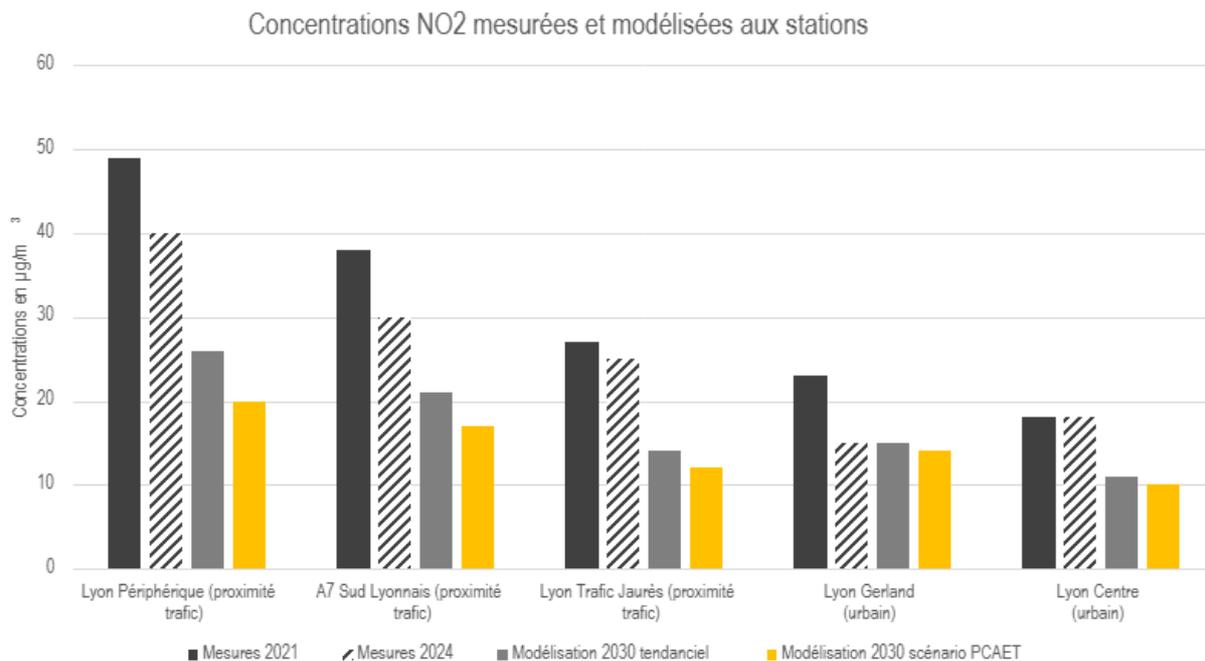


**Figure 29 : Distribution de l'exposition (à gauche) et exposition moyenne (à droite) de la population de la métropole de Lyon au NO<sub>2</sub> pour les situations de référence 2021, tendancielle 2030 et avec actions PCAET 2030**



**Figure 30 : Population exposées aux différents seuils de dépassements en NO<sub>2</sub> modélisées pour les situations de référence 2021, tendancielle 2030 et avec actions PCAET 2030 sur la métropole de Lyon**

La situation tendancielle 2030 modélisée prévoit des dépassements de la future valeur limite aux stations de proximité trafic de « Lyon Périphérique » et « A7 Sud Lyonnais ». Les actions PCAET permettraient d’assurer le respect de la future valeur limite à ces stations (Figure 31).

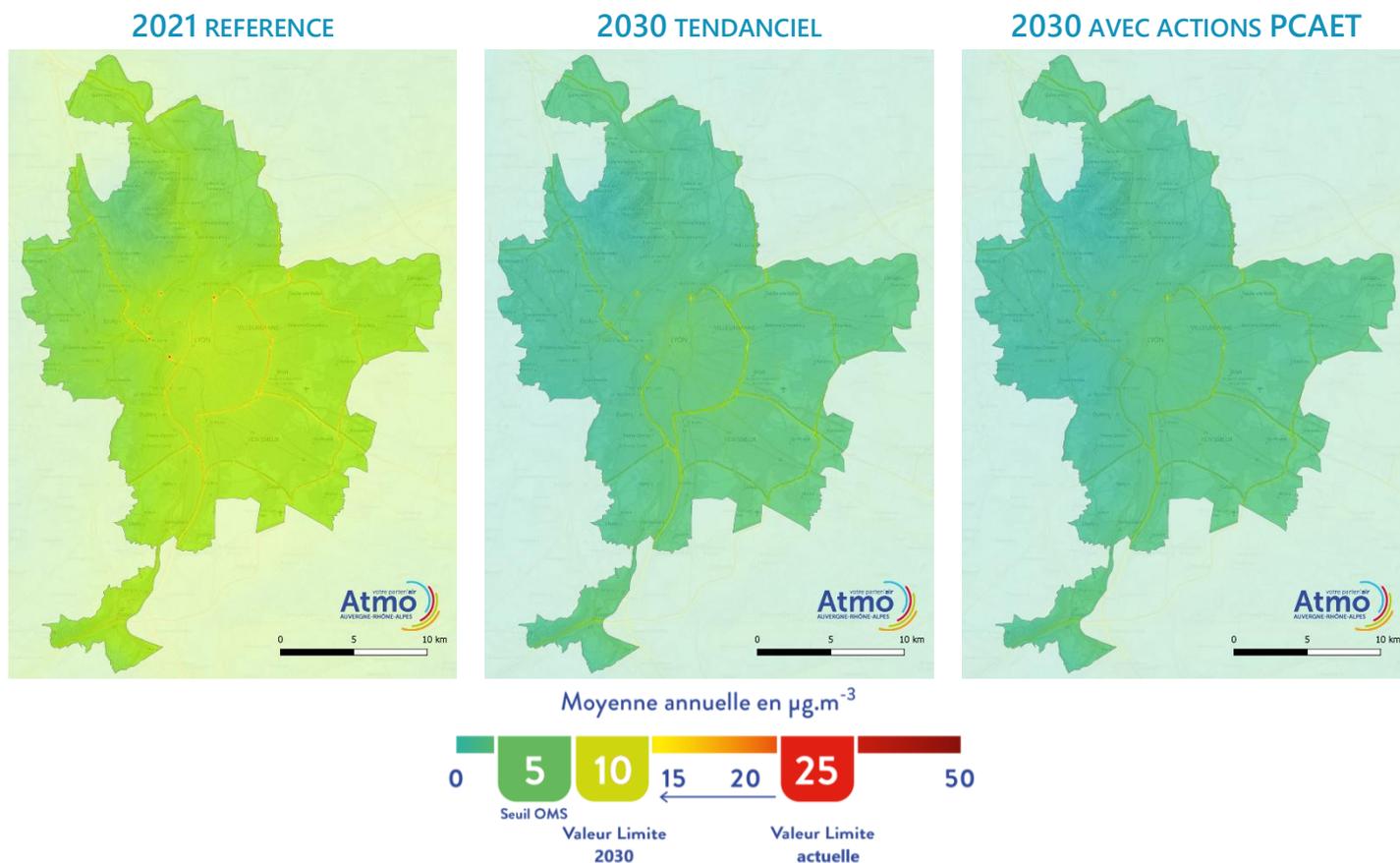


**Figure 31: Concentrations de NO<sub>2</sub> mesurées et modélisées aux stations de mesures de la Métropole de Lyon**

## 4.2. Concentrations et exposition de la population aux PM2.5

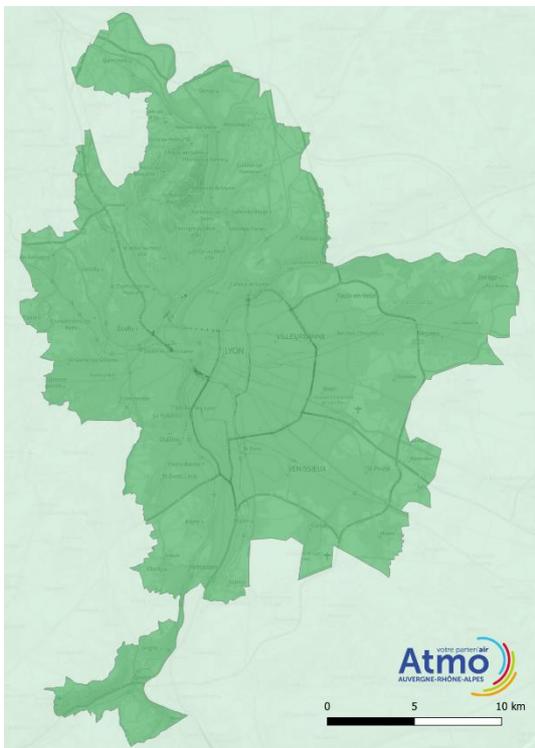
Entre 2021 et 2030, les réductions tendanciennes de concentrations moyennes annuelles de PM2,5 sont importantes et relativement uniformes sur le territoire, entre 4 et 5  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  (Figure 32 et Figure 33).

La mise en place du PCAET entraîne des baisses de concentrations PM2.5 supplémentaires de l'ordre de 2 à 3  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  en proximité des autoroutes et du périurbain. Ces baisses ne sont cependant pas significatives en situation de fond ( $<1 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ).



**Figure 32 : Moyennes annuelles des concentrations PM2.5 en  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  modélisées pour les situations de référence 2021, tendancielle 2030 et avec actions PCAET 2030 sur la Métropole de Lyon**

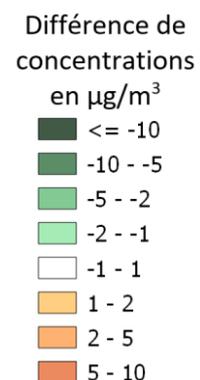
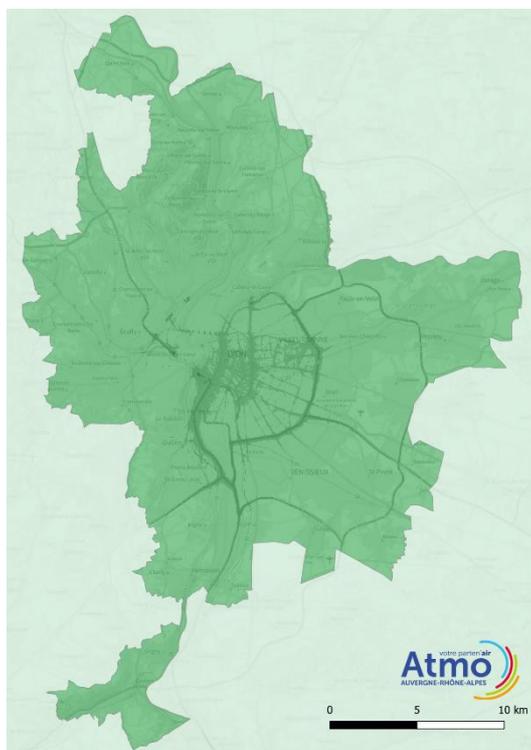
**GAINS DE CONCENTRATIONS PM2,5  
TENDANCIELLES 2021-2030  
(ENTRE 2021 REFERENCE ET 2030 TENDANCIEL)**



**GAINS DE CONCENTRATIONS PM2,5 DUES  
AUX ACTIONS PCAET EN 2030  
(ENTRE 2030 TENDANCIEL ET 2030 AVEC ACTIONS  
PCAET)**



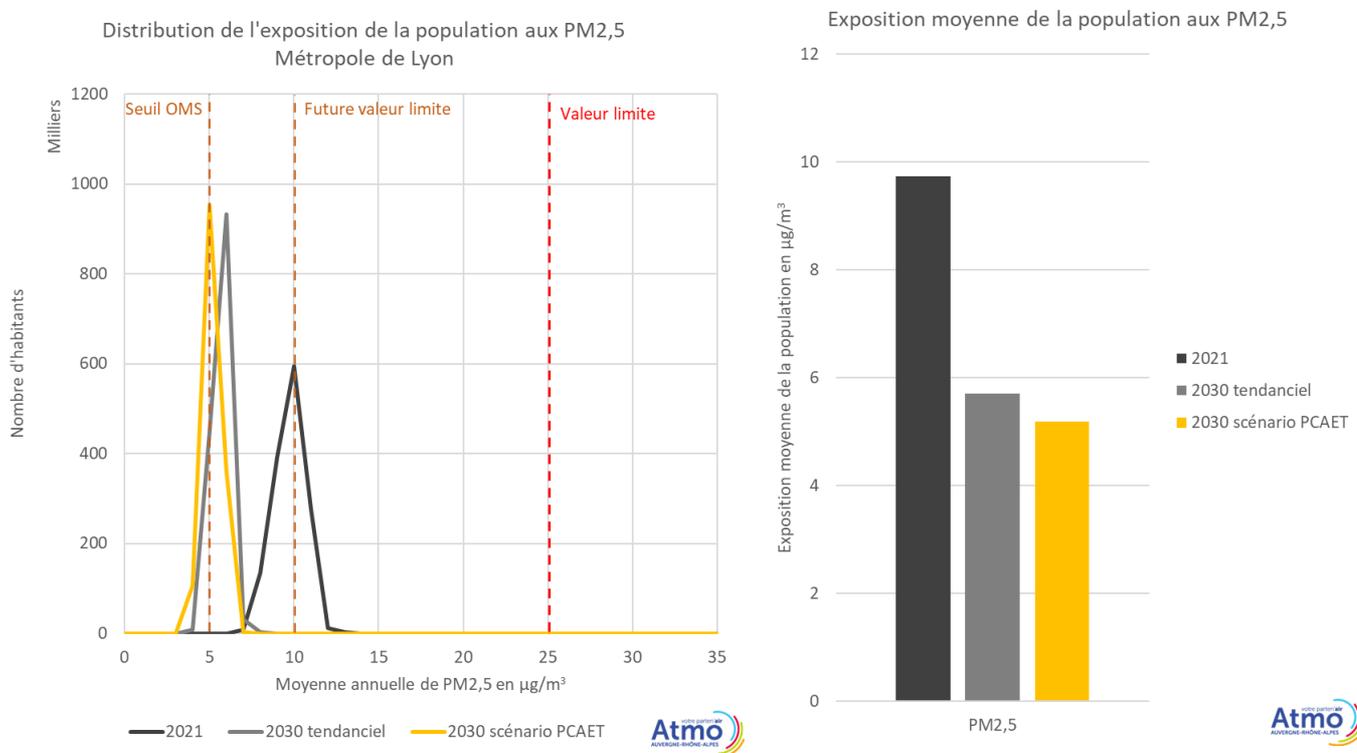
**GAINS DE CONCENTRATIONS PM2,5 DU SCENARIO PCAET 2030  
PAR RAPPORT A LA REFERENCE 2021**



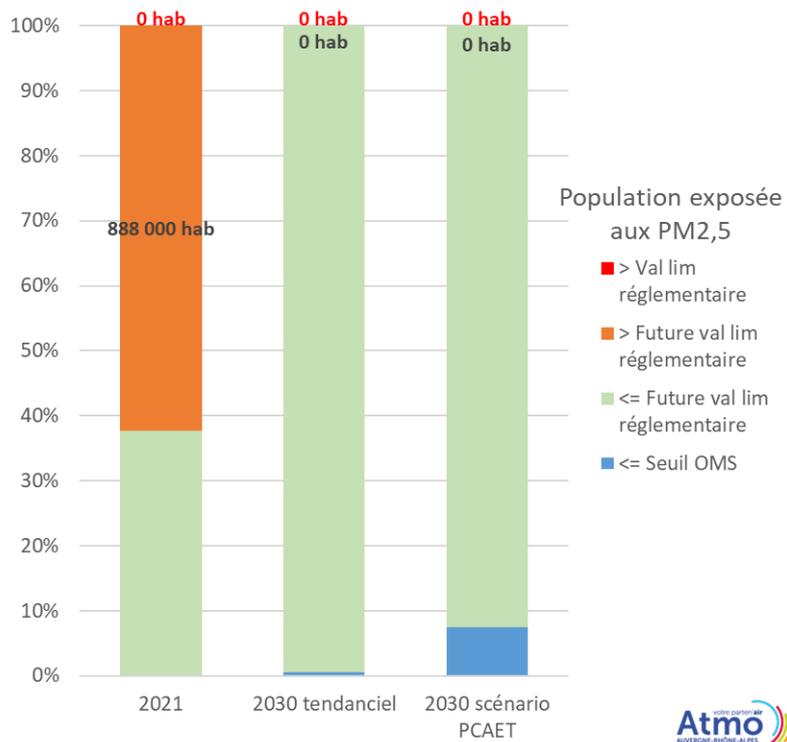
**Figure 33 : Différence des concentrations moyennes annuelles PM2.5 en  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  modélisées entre les situations de référence 2021, tendancielle 2030 et avec actions PCAET 2030 sur la métropole de Lyon**

Entre 2021 et 2030, l'exposition moyenne des habitants de la métropole de Lyon aux PM2,5 diminue d'environ 40%, pour atteindre moins de 6  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  en situation tendancielle 2030. Les actions PCAET permettent de baisser cette exposition de 0.5  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  supplémentaire (Figure 34).

En termes de dépassement des différents seuils, aucun habitant n'est soumis à des dépassements de la valeur limite réglementaire actuelle (25  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ) à toutes les échéances (Figure 35). En 2021, près de 900 000 habitants restent soumis à un dépassement de la future valeur limite (10  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ). En 2030, ce futur seuil est respecté pour l'ensemble de la population, y compris en situation tendancielle. Par rapport à la valeur cible OMS, si moins de 8 000 habitants la respectent en situation tendancielle 2030, la mise en place des actions PCAET permettait à près de 100 000 habitants supplémentaires de passer sous ce seuil d'exposition.



**Figure 34 : Distribution de l'exposition (à gauche) et exposition moyenne (à droite) de la population de la métropole de Lyon aux PM2,5 pour les situations de référence 2021, tendancielle 2030 et avec actions PCAET 2030**



**Figure 35 : Population exposées aux différents seuils de dépassements en PM2,5 modélisées pour les situations de référence 2021, tendancielle 2030 et avec actions PCAET 2030 sur la métropole de Lyon**

### 4.3. Concentrations et exposition de la population aux PM10

Comme pour les PM2,5, les variations tendanciennes de concentrations moyennes annuelles de PM10 entre 2021 et 2030 sont importantes et uniformes sur le territoire, entre 4 et 6  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  (Figure 37).

La mise en place du PCAET entraîne des baisses de concentrations PM10 supplémentaires d'environ 1  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  en fond urbain, et pouvant atteindre 5  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  en proximité des autoroutes et du périurbain.

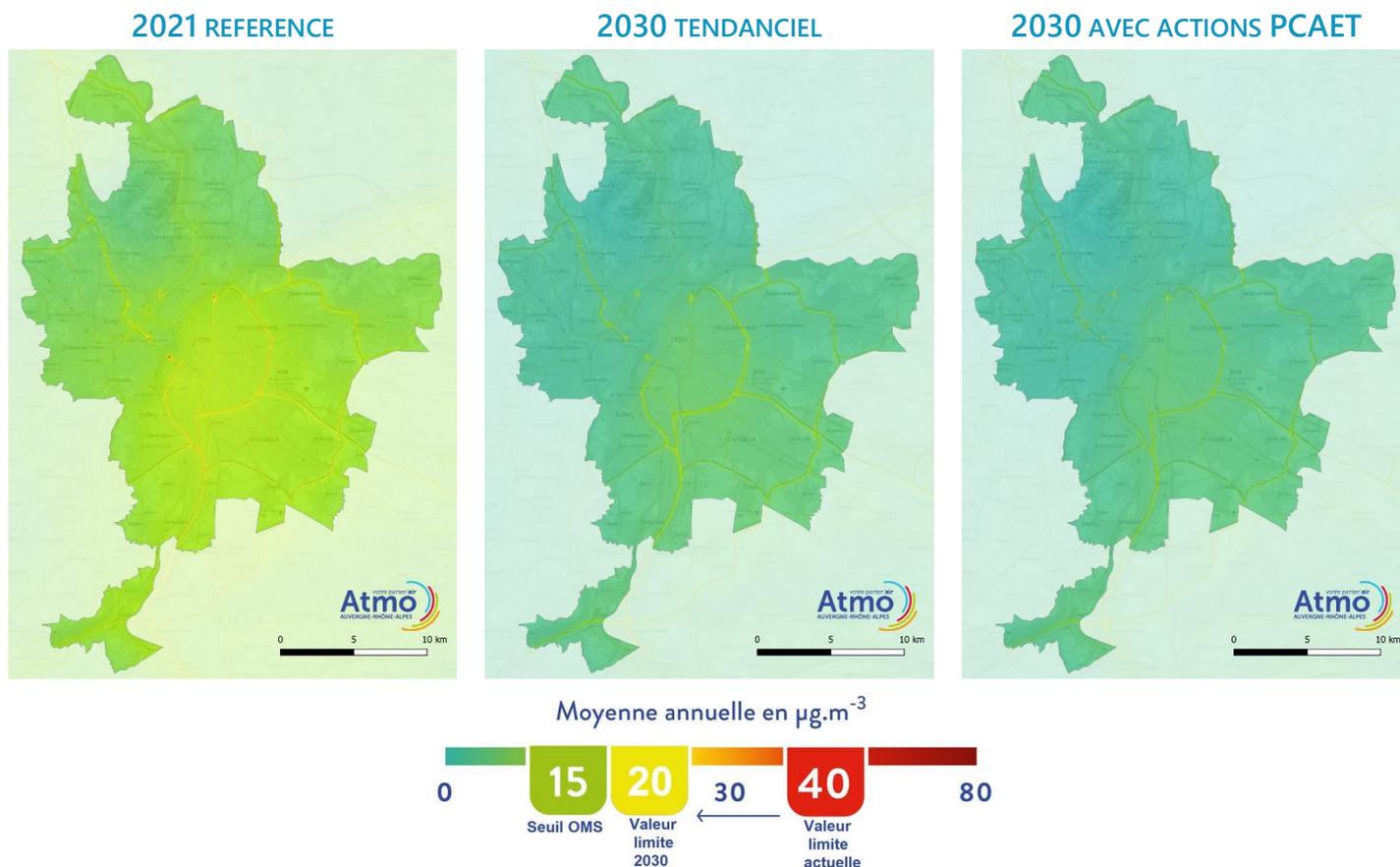
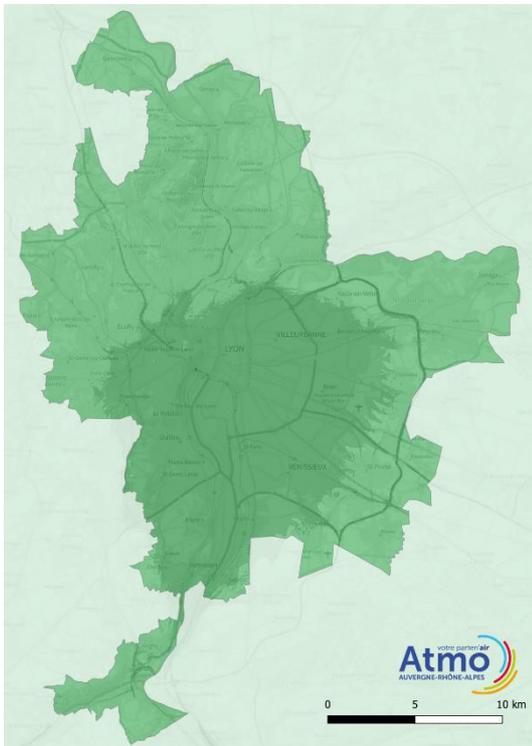
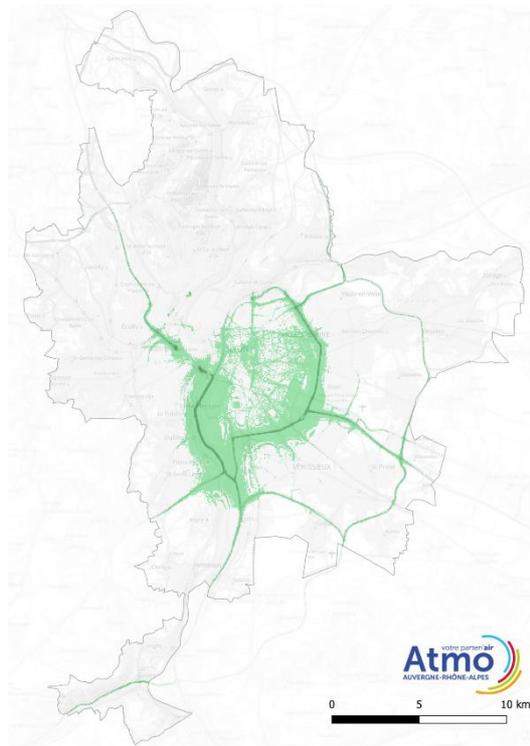


Figure 36 : Moyennes annuelles des concentrations PM10 en  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  modélisées pour les situations de référence 2021, tendancielle 2030 et avec actions PCAET 2030 sur la Métropole de Lyon

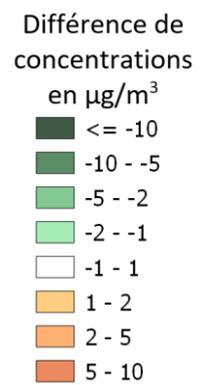
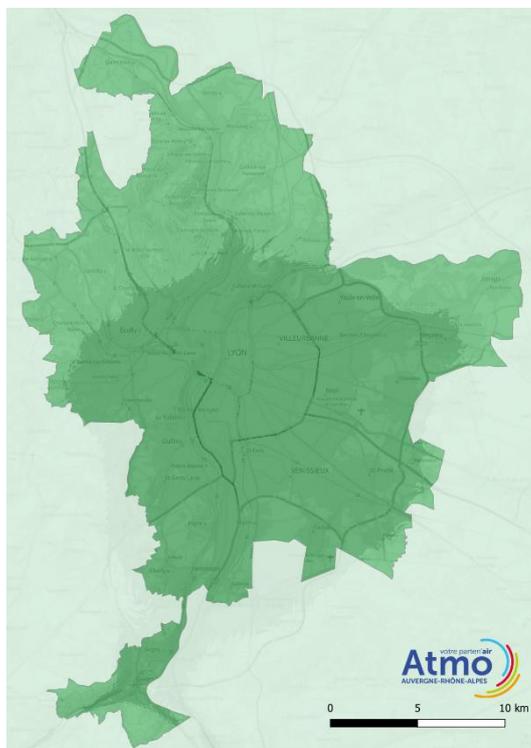
**GAINS DE CONCENTRATIONS PM10  
TENDANCIELLES 2021-2030  
(ENTRE 2021 REFERENCE ET 2030 TENDANCIEL)**



**GAINS DE CONCENTRATIONS PM10 DUES AUX  
ACTIONS PCAET EN 2030  
(ENTRE 2030 TENDANCIEL ET 2030 AVEC ACTIONS  
PCAET)**



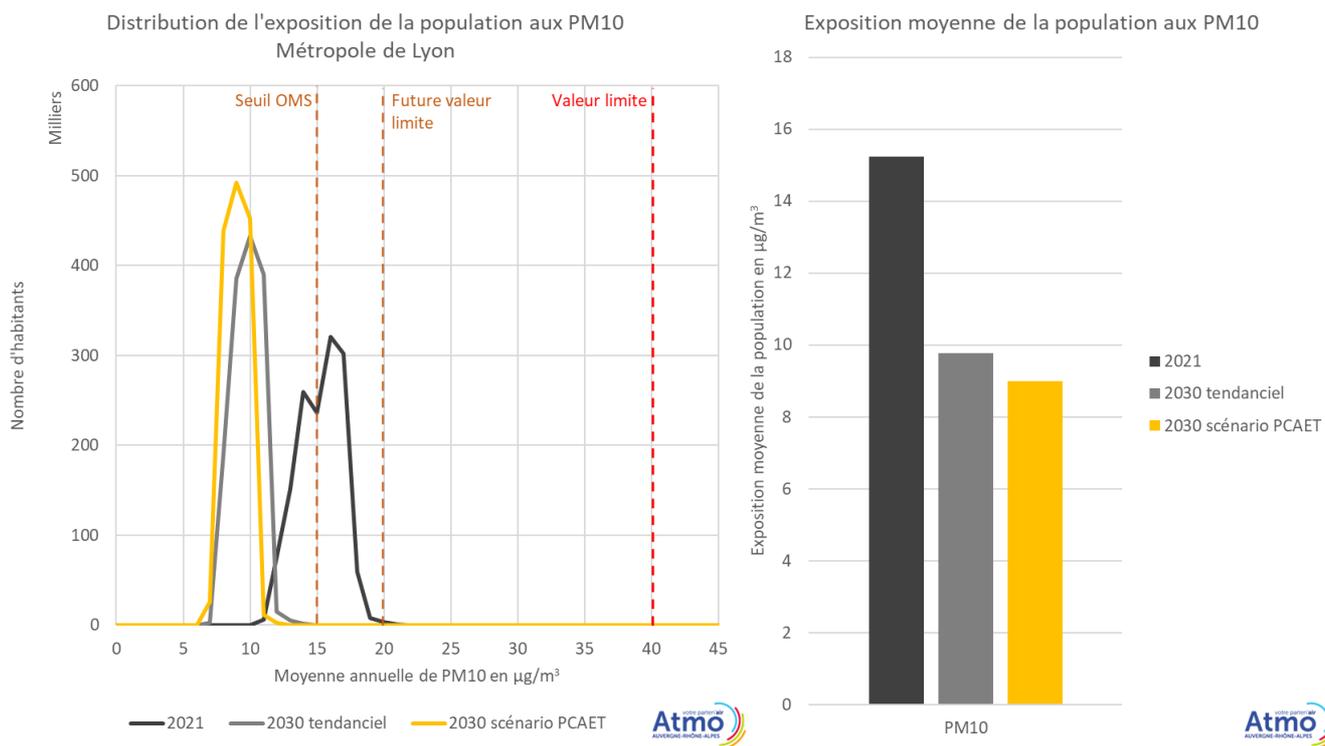
**GAINS DE CONCENTRATIONS PM10 DU SCENARIO PCAET 2030  
PAR RAPPORT A LA REFERENCE 2021**



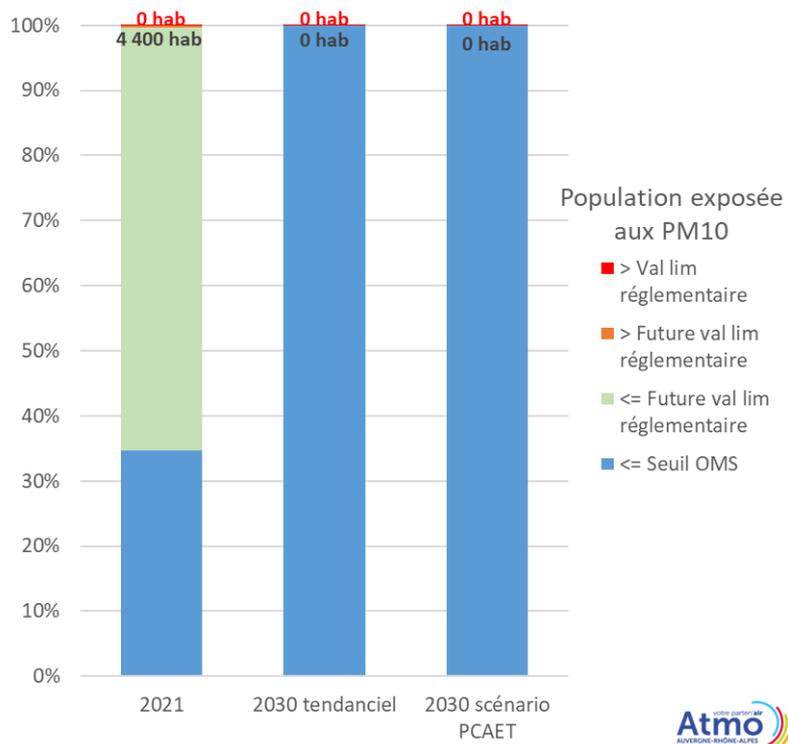
**Figure 37 : Différence des concentrations moyennes annuelles PM10 en  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  modélisées entre les situations de référence 2021, tendancielle 2030 et avec actions PCAET 2030 sur la métropole de Lyon**

Entre 2021 et 2030, l'exposition moyenne des habitants de la métropole de Lyon aux PM10 diminue d'environ un tiers. Les actions PCAET permettent de baisser cette exposition de  $1 \mu\text{g}/\text{m}^3$  supplémentaire (Figure 38).

En termes de dépassement des différents seuils, aucun habitant n'est soumis à des dépassement de la valeur limite réglementaire actuelle ( $40 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ) et future ( $20 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ) en 2021 et 2030 (Figure 39). En 2030, l'ensemble de la population de la métropole de Lyon devrait être exposé à des niveaux de concentrations PM10 inférieurs à la valeur cible OMS ( $15 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ).



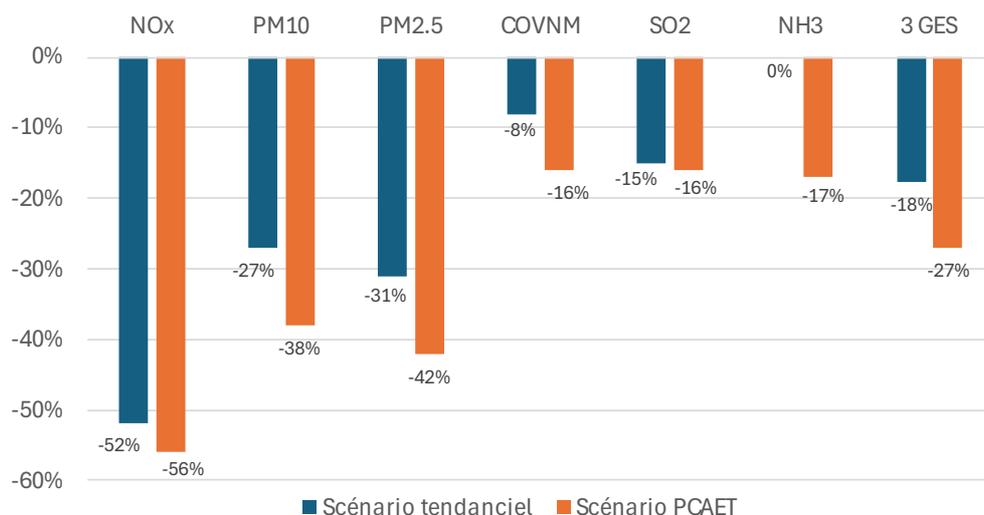
**Figure 38 : Distribution de l'exposition (à gauche) et exposition moyenne (à droite) de la population de la métropole de Lyon aux PM10 pour les situations de référence 2021, tendancielle 2030 et avec actions PCAET 2030**



**Figure 39 : Population exposées aux différents seuils de dépassements en PM10 modélisées pour les situations de référence 2021, tendancielle 2030 et avec actions PCAET 2030 sur la métropole de Lyon**

# Conclusion

Les actions du PCAET permettent d'amplifier les baisses tendancielle d'émissions de polluants atmosphériques afin de garantir l'atteinte des objectifs nationaux 2030 (PREPA) et locaux 2027 (PPA). Une vigilance est à noter sur les émissions industrielles de COVNM dont l'évolution depuis 2018 ne garantit pas à ce stade le respect des objectifs réglementaires à horizon 2027-2030 (les travaux PPA basés sur une année de référence 2018 favorable laissait entrevoir le respect des objectifs).



**Figure 40 : Evolution des émissions totales entre 2021 et le scénario PCAET 2030**

Concernant les concentrations annuelles et les populations exposées aux dépassements réglementaires, les actions du PCAET permettent, contrairement au scénario tendanciel, de ne plus dépasser la valeur limite réglementaire NO<sub>2</sub> (20 µg/m<sup>3</sup> en moyenne annuelle) en 2030 sur les sites « A7/M7 sud lyonnais » et « Lyon périphérique ». Concernant les PM<sub>2.5</sub>, le scénario PCAET permet à 7.5% de la population de passer sous le seuil OMS contre moins de 0.5% dans le scénario tendanciel.

Enfin, la neutralité carbone visée par la métropole à horizon 2050, en cohérence avec les objectifs européens et nationaux, est envisageable au regard de la baisse des émissions des 3 principaux de GES estimée à -79% entre 1990 et 2050. Il conviendra cependant de renforcer les capacités d'absorption du CO<sub>2</sub> par les forêts, les sols, et d'étudier le recours au captage et à la séquestration des émissions de CO<sub>2</sub> des principaux émetteurs.

# Annexe 1 : la chaîne de modélisation : méthodologie détaillée et analyse des écarts modèle/mesures

## Méthodologie

La chaîne de modélisation utilisée pour évaluer les actions du PPA est une chaîne intégrant plusieurs échelles. La méthode développée par Atmo Auvergne-Rhône-Alpes combine ainsi les résultats de modèles à l'échelle de la région et à l'échelle de la rue. Pour ce faire, il existe 2 étapes.

**Une première étape calcule les concentrations à l'échelle régionale** à partir de modèles dits méso-échelles et géostatistiques. La spatialisation des polluants obtenue à l'échelle régionale est dite de fond, c'est-à-dire à l'échelle du kilomètre. Plusieurs modèles de références dans la communauté scientifique météorologique et de dispersion atmosphérique sont utilisés comme le modèle météorologique WRF et le modèle de chimie transport CHIMERE<sup>1</sup>. WRF permet de calculer les conditions météorologiques (direction du vent, pression, températures, ...) avec une résolution horaire. CHIMERE permet, à partir des données WRF et d'une spatialisation complexe des émissions issue d'une méthodologie spécifique développée à Atmo Auvergne-Rhône-Alpes, de modéliser le transport atmosphérique des polluants à l'échelle horaire. CHIMERE prend en compte les processus chimiques complexes, les effets du relief, ainsi que les concentrations de fond liées aux émissions hors de la région Auvergne-Rhône-Alpes. Ces deux modèles sont utilisés à des résolutions spatiales de 3km sur la région Auvergne-Rhône-Alpes. La correction des concentrations avec des mesures dites de fond (stations hors stations industrielles et de trafic) est réalisée par une méthode géostatistique appelé krigeage. Cette dernière permet de corriger les écarts par rapport aux observations temporellement et spatialement.

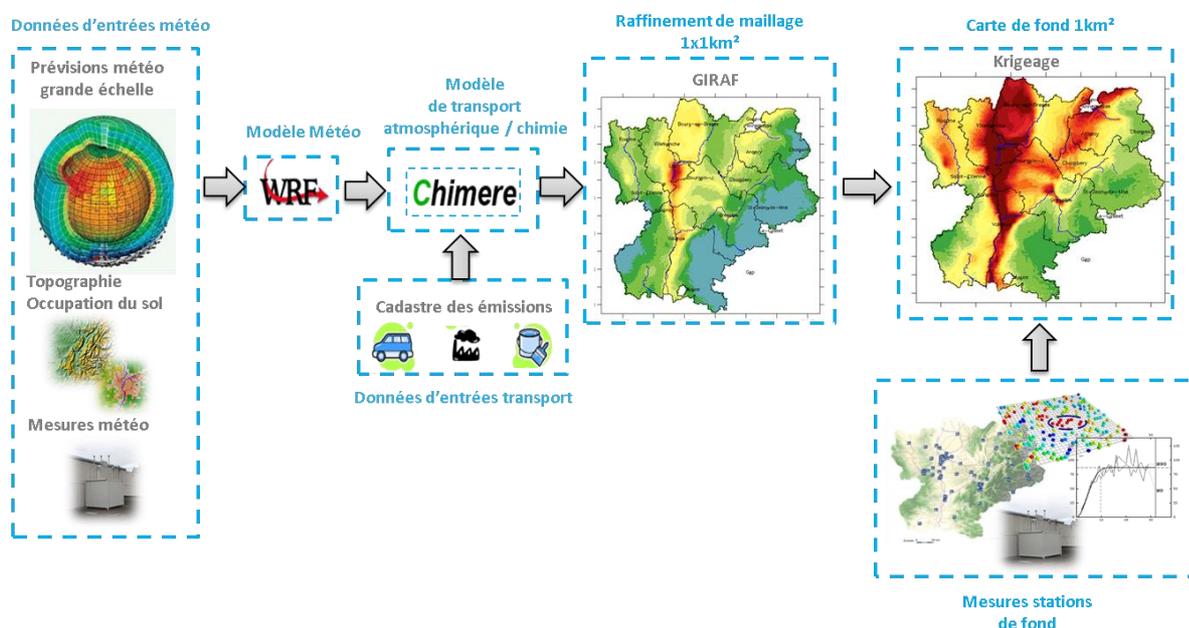
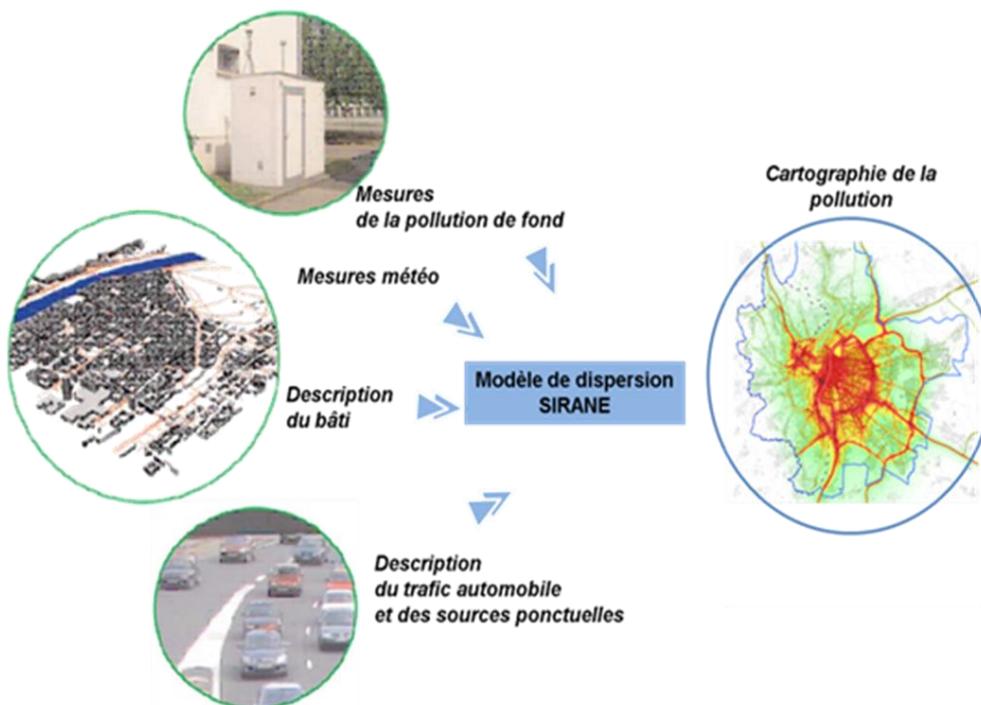


Schéma de mise en œuvre de la chaîne de modélisation régionale

<sup>1</sup> CHIMERE : Institut Pierre-Simon Laplace, INERIS, CNRS  
<http://www.lmd.polytechnique.fr/chimere/chimere.php>

**La seconde cartographie à l'échelle de la rue** est issue du modèle SIRANE<sup>2</sup>, développé par l'Ecole Centrale de Lyon. Ce modèle permet de calculer les concentrations de polluants à partir d'un réseau de rues prenant en compte le bâti. Il est validé pour des échelles de l'ordre de la centaine à la dizaine de mètres. Dans cet outil, SIRANE modélise le transport dû aux émissions de trafic à l'échelle de la dizaine de mètres pour les agglomérations et à proximité des routes principales de la région. SIRANE fonctionne avec des domaines d'emprise maximum de 30km<sup>2</sup> sur une grille régulière de résolution de 10mx10m.



*Schéma de mise en œuvre de la modélisation fine échelle (SIRANE)*

A l'échelle de la rue (100m à 10m), le modèle de proximité SIRANE utilise une approche par réseau de rues. L'utilisation de ce modèle à partir des émissions du trafic est adaptée au transport des polluants en proximité urbaine. En revanche, un calcul SIRANE avec une résolution de 10m sur un domaine unique couvrant plus de 30 km<sup>2</sup> est impossible actuellement pour des raisons de temps de calculs et de mémoire. Son utilisation seule sans fond régional ne serait pas adaptée non plus. En effet, les hypothèses de transport atmosphérique proposées par SIRANE sont valables en proximité des rues, mais pas à l'échelle régionale. Les processus chimiques sont aussi simplifiés, ce qui est valable en proximité urbaine mais difficilement envisageable pour de longs transports.

La cartographie régionale finale des polluants à fine échelle est alors calculée en combinant la cartographie de proximité avec la cartographie de fond. Dans le cas de plusieurs domaines SIRANE, ces derniers sont indépendamment combinés avec le fond régional pour fournir une cartographie finale à 10m de la zone

2 Soulhac L, Salizzoni P, Cierco FX, Perkins R. (2011). The model SIRANE for atmospheric urban pollutant dispersion ; Part I : Presentation of the model. Atmos Environ, n° 45(39), p. 79-95.

Soulhac L, Salizzoni P, Mejean P et al. (2012). The model SIRANE for atmospheric urban pollutant dispersion ; Part II : Validation of the model on a real case study. Atmos Environ, n° 49(0), p. 320-337.

d'intérêt. La combinaison des deux approches permet de prendre en compte de manière séparée différentes échelles de transport, puis de les associer.

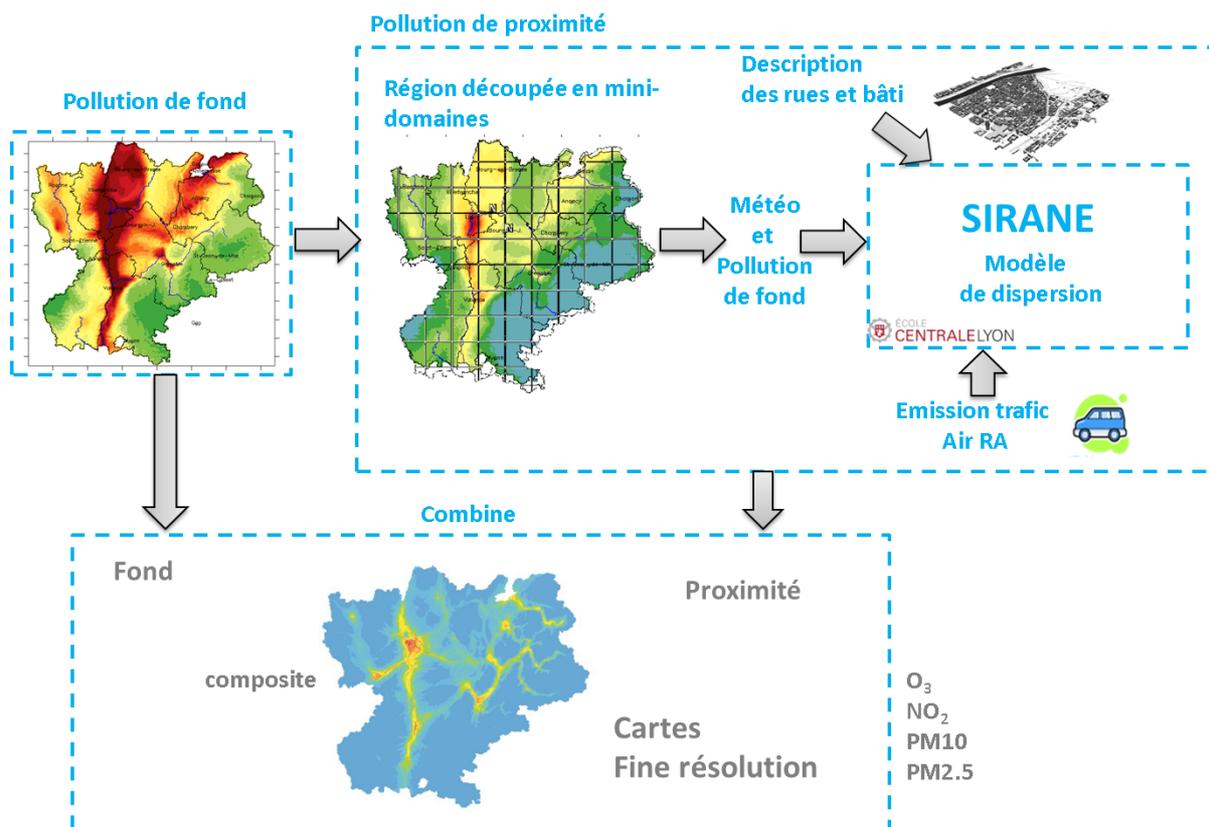


Schéma de principe de combinaison des modèles régionaux et fine échelle

### **Application de la méthode dans le cas d'une modélisation prospective**

L'évaluation de scénarios d'actions est toujours réalisée à partir d'un cas test de référence sur une année météorologique de référence. Les émissions associées aux scénarios d'actions sont alors utilisées dans une nouvelle simulation pour en estimer l'impact.

La difficulté pour un scénario prospectif est principalement liée à la correction géostatistique avec les mesures. En effet, pour des scénarios prospectifs, ces mesures n'existent pas, les scénarios décrivent une situation hypothétique. La correction des valeurs modélisées aux stations ne peut être a priori connue. De plus, la correction géostatistique induit aussi des changements sur les valeurs modélisées en dehors du périmètre des stations de mesures.

Pour pallier ce problème tout en conservant une certaine homogénéité entre la cartographie de référence et la prospective, l'hypothèse est basée sur la supposition que les erreurs entre la modélisation de référence et la modélisation prospective sont identiques de manière relative. En d'autres termes, l'écart relatif entre la modélisation non corrigée de l'année de référence et celle de l'année prospective (représentant l'évolution liées aux changements d'émissions) est imposée en tous points à la modélisation corrigée de référence afin d'obtenir la situation corrigée prospective. Cette conservation peut être illustrée sous forme de formule (année de référence 2021 et année prospective 2030) :

$$\frac{(MOD\ corrigée_{(2021)}^i - MOD\ corrigée_{(2030)}^i)}{MOD\ corrigée_{(2021)}^i} = \frac{(MOD\ brut_{(2021)}^i - MOD\ brut_{(2030)}^i)}{MOD\ brut_{(2021)}^i}$$

Avec :

$MOD\ corrigée_{(2021)}^i$  : Concentration corrigée par krigeage des mesures en 2021 à la maille i

$MOD\ corrigée_{(2030)}^i$  : Concentration corrigée en 2030 à la maille i

$MOD\ brut_{(2021)}^i$  : Concentration brute modélisée en 2021 à la maille i

$MOD\ brut_{(2030)}^i$  : Concentration brute modélisée en 2030 à la maille i

On en déduit la relation suivante pour calculer la valeur corrigée à la maille i sur l'année prospective :

$$MOD\ corrigée_{(2030)}^i = MOD\ corrigée_{(2021)}^i * \frac{MOD\ brut_{(2030)}^i}{MOD\ brut_{(2021)}^i}$$