

# Révision du PCAEM de Grenoble Alpes Métropole

## Impact sur les émissions et l'exposition des populations aux polluants atmosphériques

---

2030-2035

RAPPORT TECHNIQUE

Version du 23 décembre 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 PCAEM de Grenoble Alpes Métropole - 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.</b>	<b>Introduction.....</b>	<b>6</b>
<b>2.</b>	<b>Méthodologie générale .....</b>	<b>7</b>
2.1.	Polluants étudiés.....	7
2.2.	Inventaire des émissions de polluants atmosphériques.....	7
2.3.	Modélisation des concentrations de polluants et calcul de l'exposition de la population.....	9
<b>3.</b>	<b>Méthodologie et hypothèses retenues .....</b>	<b>10</b>
3.1.	Méthodologie.....	10
3.2.	Objectifs nationaux de réduction des émissions .....	11
3.3.	Projections énergétiques relatives au scénario « Maintien dynamique » .....	12
3.4.	Hypothèses spécifiques au transport routier.....	12
3.4.1.	Volumes de trafic.....	13
3.4.2.	Parcs roulants.....	13
3.5.	Hypothèses spécifiques au chauffage individuel biomasse .....	14
3.6.	Hypothèses sur les principaux émetteurs industriels .....	15
<b>4.</b>	<b>Analyse des résultats en émissions .....</b>	<b>16</b>
4.1.	Emissions des PM2.5 .....	16
4.2.	Emissions de NOx.....	17
4.3.	Emissions de COVNM.....	18
4.4.	Emissions de NH3.....	19
4.5.	Emissions de SO2.....	20
4.6.	Analyse par macrosecteur d'activités.....	21
4.7.	Synthèse.....	22
<b>5.</b>	<b>Analyse des résultats en concentrations et expositions .....</b>	<b>24</b>
5.1.	Concentrations et exposition de la population au NO <sub>2</sub> .....	25
5.2.	Concentrations et exposition de la population aux PM <sub>2,5</sub> .....	28
5.3.	Concentrations et exposition de la population aux PM <sub>10</sub> .....	31
<b>6.</b>	<b>Conclusion .....</b>	<b>34</b>

# Illustrations

Figure 1: Interactions autour de l'inventaire des émissions.....	8
Figure 2 : Principales étapes de réalisation d'un inventaire des émissions de polluants atmosphériques .....	8
Figure 3 : Chaîne de modélisation des concentrations de polluants atmosphériques.....	9
Figure 4 : Méthode de calcul des émissions prospectives .....	10
Figure 5 : Objectifs nationaux de réduction du PREPA, en % par rapport à 2005.....	11
Figure 6 : Objectifs de réduction des émissions de polluants du PPA Grenoble Alpes Dauphiné .....	11
Figure 7 : Evolution de la consommation énergétique par secteur, comparaison des 2 scenarios.....	12
Figure 8 : évolution des distances parcourues (Millions de km annuels) entre 2022 et 2035 pour chaque scénario.....	13
Figure 9 : proportion par type de véhicule et motorisation dans les consommations d'énergie visées en 2030 - 2035.....	14
Figure 10 : Evolution des émissions de PM2.5 depuis 2005 par rapport aux objectifs réglementaires .....	16
Figure 11 : Evolution des émissions de NOx depuis 2005 par rapport aux objectifs réglementaires ..	17
Figure 12 : Evolution des émissions de COVNM depuis 2005 par rapport aux objectifs réglementaires .....	18
Figure 13 : Evolution des émissions de COVNM détaillées par postes principaux du secteur résidentiel .....	18
Figure 14 : Evolution des émissions de NH3 depuis 2005 par rapport aux objectifs réglementaires ..	19
Figure 15 : Evolution des émissions de SO2 depuis 2005 par rapport aux objectifs réglementaires ...	20
Figure 16 : Evolution des émissions par polluant et secteurs d'activités .....	21
Figure 17 : <i>Pourcentage de réduction des émissions de polluants entre 2022 et 2035</i> .....	22
Figure 18 : <i>Evolution en valeur absolue des émissions de polluants entre 2022 et 2035</i> .....	23
Figure 19 : Moyennes annuelles NO <sub>2</sub> en 2022 et pour les scenarii PCAEM 2030 et 2035 .....	25
Figure 20 : Gains annuels en NO <sub>2</sub> (µg/m <sup>3</sup> ) par rapport à l'année de référence 2022.....	25
Figure 21 : <i>Distribution de l'exposition (à gauche) et exposition moyenne (à droite) de la population au NO<sub>2</sub></i> .....	26
Figure 22 : Répartition de la population (à gauche) et des ERP (à droite) selon différents seuils d'exposition NO <sub>2</sub> .....	27
Figure 23: Concentrations de NO <sub>2</sub> mesurées et modélisées aux stations de mesures de proximité trafic .....	27
Figure 24 : Moyennes annuelles PM2.5 en 2022 et pour les scenarii, PCAEM 2030 et 2035 .....	28
Figure 25 : Gains annuels en PM <sub>2,5</sub> (µg/m <sup>3</sup> ) par rapport à l'année de référence 2022.....	28
Figure 26 : Distribution de l'exposition (à gauche) et exposition moyenne (à droite) de la population aux PM <sub>2,5</sub> .....	29
Figure 27 : <i>Répartition de la population (à gauche) et des ERP (à droite) selon différents seuils d'exposition PM<sub>2,5</sub></i> .....	30
Figure 28 : Moyennes annuelles PM10 en 2022 et pour les scenarii, PCAEM 2030 et 2035 .....	31

<b>Figure 29 : Gains annuels en PM10 (<math>\mu\text{g}/\text{m}^3</math>) par rapport à l'année de référence 2022.....</b>	<b>31</b>
<b>Figure 30 : Distribution de l'exposition (à gauche) et exposition moyenne (à droite) de la population aux PM10.....</b>	<b>32</b>
<b>Figure 31 : Répartition de la population (à gauche) et des ERP (à droite) selon différents seuils d'exposition PM10.....</b>	<b>33</b>
<b>Figure 32 : Synthèse des indicateurs Emissions, concentrations et exposition aux valeurs réglementaires ou OMS.....</b>	<b>34</b>

# 1. Introduction

La Métropole de Grenoble s'est engagée dès 2005 sur les thématiques Climat Energie, sous l'angle de la lutte contre l'effet de serre, au travers de l'approbation du premier Plan Climat local adopté en France. Son implication visant à améliorer la qualité de l'air est également ancrée depuis de nombreuses années : contribution aux actions du Plan de Protection de l'Atmosphère (PPA), Plan de Déplacements Urbains devenus Plan de Mobilité (coordonné par le SMMAG), Zone à Faibles Emissions (ZFE-m), dispositif Fonds Air Bois (FAB), ...

Atmo Auvergne-Rhône-Alpes accompagne Grenoble Alpes Métropole depuis une vingtaine d'années sur le volet qualité de l'air, puis sur les émissions de Gaz à Effet de Serre au travers de l'observatoire local du Plan Climat Air Energie. Les indicateurs produits reposent sur des outils numériques permettant de modéliser un historique des émissions remontant à 2005 (voire 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 de son Plan Climat Air Energie Métropolitain (PCAEM), Atmo Auvergne-Rhône-Alpes a transcrit le scénario énergétique du PCAEM en émissions de polluants à effet sanitaire aux horizons 2030 et 2035. Un scénario « Maintien dynamique » a également été produit par prolongement des tendances observées ces dernières années tenant compte de politiques locales déjà volontaristes.

## 2. Méthodologie générale

### 2.1. Polluants étudiés

Les travaux de révision du PCAEM portent sur les polluants à effet sanitaire faisant l'objet d'objectifs de réduction dans le cadre du Plan national de Réduction des Emissions de Polluants Atmosphériques (PREPA) et du Plan de Protection de l'Atmosphère (PPA) : NOx, PM2.5, COVNM, NH3 et SO2 (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 PM10 (particules fines inférieures à 10 micromètres) ont également été évaluées étant donné qu'elles sont assignées à des objectifs de réduction dans le PPA Grenoble Alpes Dauphiné.

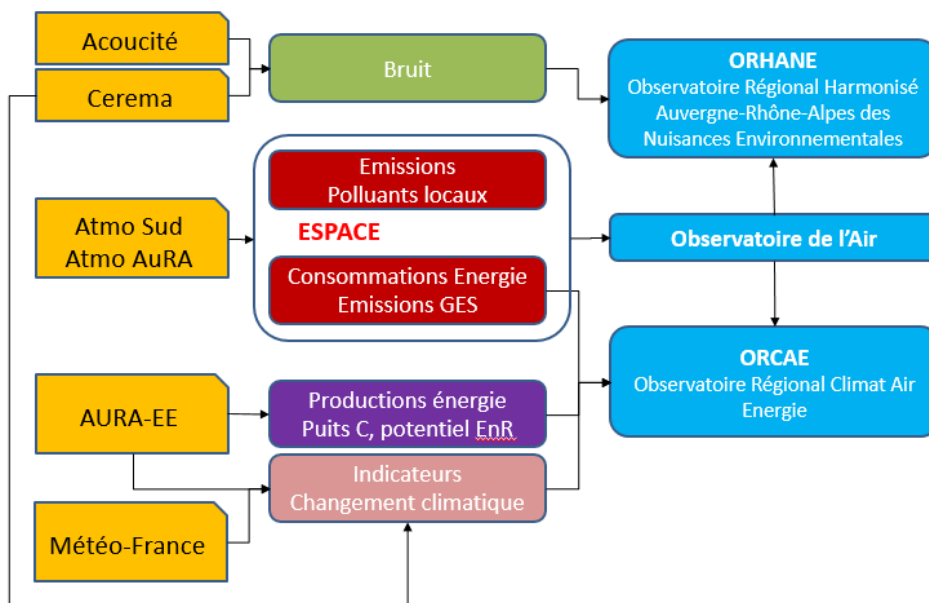
### 2.2. Inventaire des émissions de polluants atmosphériques

Atmo Auvergne-Rhône-Alpes développe et enrichit en continu depuis 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, 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.



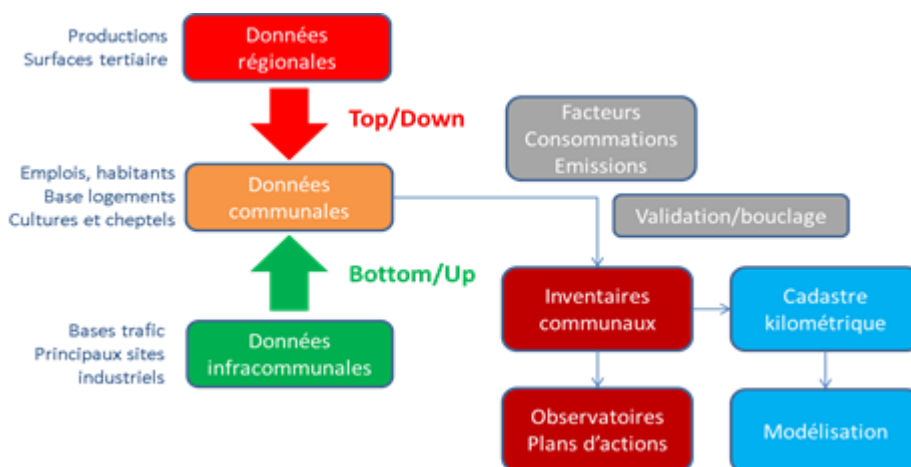
**Figure 1: Interactions autour de l'inventaire des émissions**

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 réalisation d'un inventaire des émissions de polluants atmosphériques**

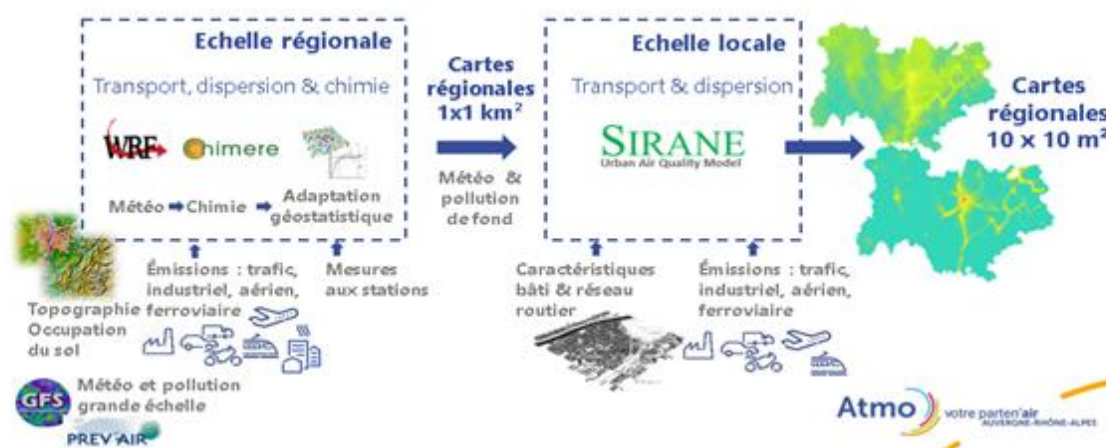
L'inventaire des émissions de polluants atmosphériques s'inscrit dans un processus d'amélioration continue. Ainsi sur les dernières années, les méthodes et sources de données ont pu être améliorées : prise en compte de parcs locaux de véhicules, exploitation du recensement des petites chaufferies biomasse de 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 Grenoble Alpes Métropole, soit 49 communes.

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

La chaîne de modélisation utilisée pour évaluer l'impact du PCAEM 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 des concentrations de polluants atmosphériques**

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.

# 3. Méthodologie et hypothèses retenues

## 3.1. Méthodologie

La projection des émissions de polluants atmosphériques repose sur le calcul de coefficients d'évolution appliqués aux émissions calculées pour l'année de référence 2022 (millésime 2024) disponibles au travers de l'observatoire local Air Climat Energie alimenté par Atmo Auvergne-Rhône-Alpes. Ces coefficients d'évolution sont déclinés par secteurs d'activités et vecteurs énergétiques (et non énergétiques) et dépendent de l'évolution :

- **des consommations d'énergie** (pour les émissions d'origine énergétique) produites par le bureau d'études ICARE et par GAM, par secteur d'activités (résidentiel, tertiaire, transport routier et ferroviaire, industrie, réseau de chaleur et agriculture) et par grands vecteurs énergétiques (gaz, électricité, fioul, charbon, carburants, biomasse) pour l'année de référence 2022, ainsi que des projections pour les années 2030 et 2035 qui correspondent au scénario PCAEM.
- **des activités** (pour les émissions d'origine non énergétique) : données telles que distances parcourues via différents modes de transport, cheptels de vaches laitières/autres bovins basées sur le scénario Plan Alimentaire interTerritorial 2050.
- **du facteur d'émission** :
  - o des facteurs d'émissions locaux **distincts** entre les scénarii « Maintien dynamique » et « PCAEM » ont été calculés pour les secteurs routier et résidentiel biomasse.
  - o Dans les autres cas de figure, les facteurs nationaux PREPA 2030 issus des travaux CITEPA AME V2023 ont été retenus. Ils sont identiques entre les deux scénarii. En l'absence d'hypothèses au-delà de 2030, les facteurs d'émissions nationaux 2030 ont été dupliqués en 2035.

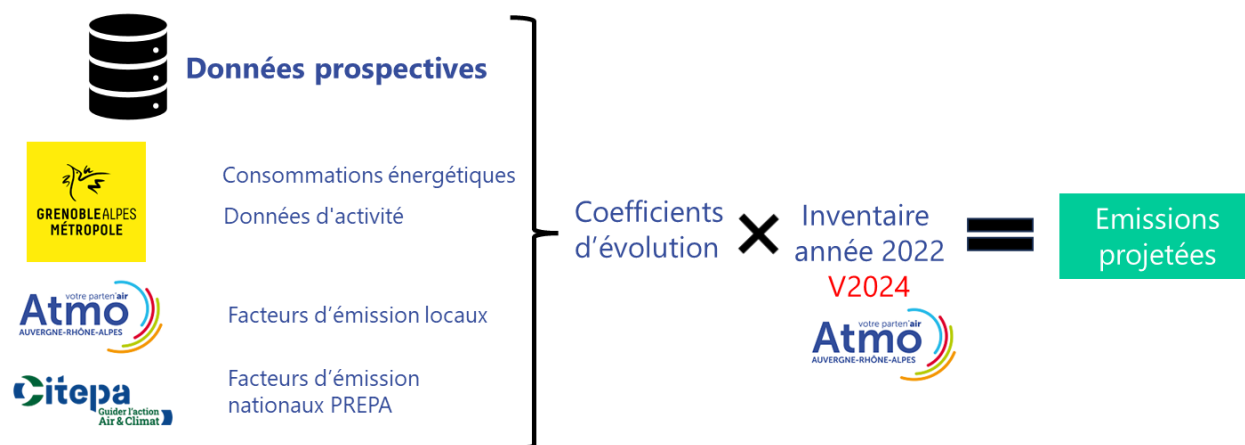


Figure 4 : Méthode de calcul des émissions prospectives

## 3.2. Objectifs nationaux de réduction des émissions

Pour rappel, le tableau ci-dessous présente les objectifs de réduction des émissions des différents polluants atmosphériques à l'échelle nationale aux horizons 2025 et 2030 (Objectifs PREPA, encadrement réglementaire), en pourcentage de réduction par rapport à 2005.

	2020	2025	2030
% par rapport à 2005			
<b>SO<sub>2</sub></b>	-55%	-66%	-77%
<b>NO<sub>x</sub></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 5 : Objectifs nationaux de réduction du PREPA, en % par rapport à 2005**

En parallèle, le territoire de Grenoble Alpes Métropole s'inscrit dans le périmètre retenu pour le déploiement des actions du PPA3 Grenoble Alpes Dauphiné, dont les objectifs sont résumés dans le tableau suivant. Les objectifs 2027 sont globalement alignés avec ceux du PREPA 2030.

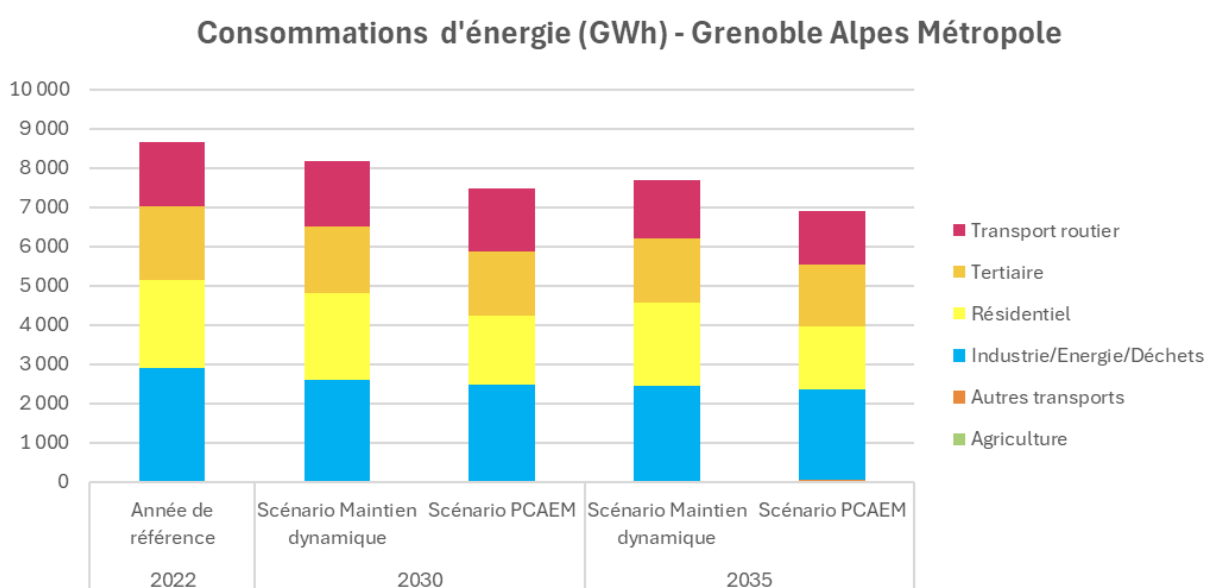
Polluant	Objectif PPA 3	Objectif PPA 3 en chiffres
NO2	PREPA 2027 < Objectif < PREPA 2030	-66 %émissions /2005
PM 10	article 186 loi C&R	- 50 % émissions 2020-2030
PM 2,5	PREPA 2030 article 186 loi C&R	-57 %émissions /2005 - 50 % émissions 2020-2030
NH3	PREPA 2027	-11 %émissions /an
COVNM	PREPA 2030	-52 %émissions /2005

**Figure 6 : Objectifs de réduction des émissions de polluants du PPA Grenoble Alpes Dauphiné**

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

### 3.3. Projections énergétiques relatives au scénario « Maintien dynamique »

En l'absence de projections locales de consommations d'énergie pour le scénario « Maintien dynamique », une prolongation de la tendance observée sur Grenoble Alpes Métropole sur la période 2018-2022 a été retenue pour les vecteurs énergétiques principaux : gaz, électricité, fioul domestique, GPL, biomasse, charbon et autres combustibles, ainsi que par macro-secteur d'activité pour le résidentiel, tertiaire, industrie, agriculture. Pour le secteur des transports, la prolongation de tendance observée sur 2015-2019 a été retenue, étant donné que le secteur a été fortement impacté par le COVID sur la période 2020-2022. L'évolution des consommations énergétiques est présentée sur la figure suivante selon les 2 scénarios « Maintien dynamique » et PCAEM.



**Figure 7 : Evolution de la consommation énergétique par secteur, comparaison des 2 scénarios**

Dans les 2 scénarios, les consommations d'énergie diminuent jusqu'en 2035 par rapport à 2022, et les consommations attendues dans le scénario PCAEM sont plus faibles que dans le scénario « Maintien dynamique », tous secteurs confondus. Une réduction de 20% des consommations d'énergie à horizon 2035 est ainsi prévue dans le scénario PCAEM contre 11% dans le scénario « Maintien dynamique », confirmant une ambition marquée du PCAEM dans la maîtrise de ses consommations d'énergie par rapport aux années précédentes.

### 3.4. Hypothèses spécifiques au transport routier

Une modélisation fine des émissions du transport routier a été réalisée sur la base des hypothèses décrites ci-après. Ces travaux reposent sur la version « Cœur de ville, cœur de Métropole » en situation actuelle 2015 par cohérence avec les indicateurs historiques de l'observatoire local Air Climat Energie. La situation 2022 a été ajustée au moyen de l'évolution 2015-2022 observée par les comptages, avec une distinction entre les voies rapides urbaines, Grenoble Centre et les autres voies. Afin de tenir compte du

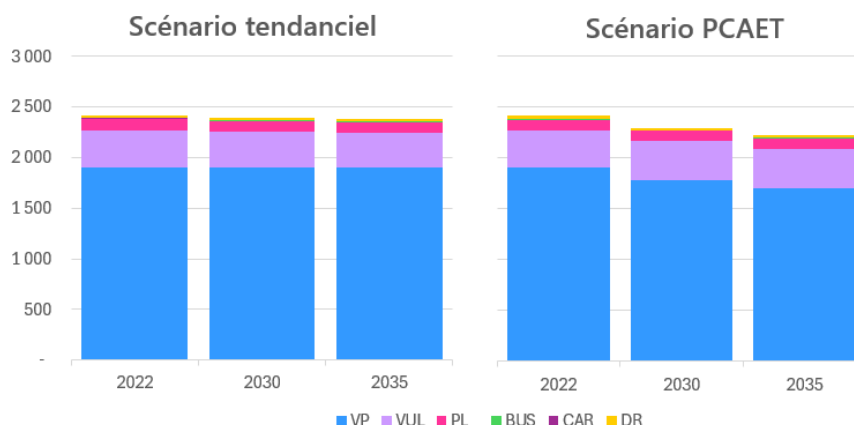
passage à 2x3 voies de l'A480 en 2023 dans les modélisations prospectives 2030 et 2035, les caractéristiques des tronçons associés ont été modifiées : capacité de la voie et vitesse maximale réglementaire. Cela permet ainsi de réduire les niveaux de congestion qui influent sur les vitesses en heure de pointe et les émissions qui en découlent. Il n'a en revanche pas été possible de prendre en compte précisément les reports de trafic induits par cet aménagement par manque de mesures précises avant/après aménagement.

### 3.4.1. Volumes de trafic

Des évolutions de distances parcourues sur les périodes 2022-2030 et 2022-2035 ont été appliquées uniformément sur l'ensemble du réseau du modèle trafic. Le graphe suivant illustre l'évolution des distances parcourues par horizon selon ces deux scénarios :

- pour le scénario « Maintien dynamique » : hypothèses issues du scénario tendanciel du Plan de Mobilités (PDM),
- pour le scénario PCAEM : hypothèses fournies par GAM.

	Maintien dynamique		PCAEM	
par rapport à 2022	2030	2035	2030	2035
VP/DR	+0.1%	+0.1%	-6%	-10%
VUL	-3.1%	-5%	+3%	+5%
PL	-1%	-1.6%	-4%	-6%



**Figure 8 : évolution des distances parcourues (Millions de km annuels) entre 2022 et 2035 pour chaque scénario**

### 3.4.2. Parcs roulants

Les parcs roulants de véhicules ont été élaborés de façon uniforme pour les deux scénarios (« Maintien dynamique » et PCAEM). On applique dans un premier temps un parc ZFE pour les zones couvertes par ces ZFE :

- ZFE VP :
  - Parc issu des données SDES 2022
  - Interdiction des véhicules Crit'Air 3+ en 2025 sur le périmètre ZFE VP
  - 0% de fraude
- ZFE VUL/PL :
  - Parcs issus de l'enquête plaque 2024

- Pourcentages de fraude des véhicules Crit’Air 3+ issus de l’enquête plaques 2024 (21% pour VUL et 13% pour PL)

Dans un second temps, les parcs ont été ajustés afin d’atteindre les objectifs de consommation par énergie fixés par GAM dans le scénario PCAEM :

	VP		VUL		PL	
	2030	2035	2030	2035	2030	2035
Diesel	29%	19%	61%	4%	47%	22%
Essence	40%	37%		35%		
Hybride	17%	17%				
GNV	3%	3%	7%	11%	42%	53%
Electrique	11%	25%	32%	50%	12%	25%

**Figure 9 : proportion par type de véhicule et motorisation dans les consommations d’énergie visées en 2030 - 2035**

### 3.5. Hypothèses spécifiques au chauffage individuel biomasse

Le chauffage individuel alimenté par de la biomasse a fait l’objet d’une modélisation fine étant donné sa contribution importante dans les émissions de particules fines.

#### Consommations

Les consommations de biomasse n’étant pas différenciées entre bûche et granulés dans les projections PCAEM, il a été fait l’hypothèse d’une évolution similaire entre les deux combustibles.

#### Evolution tendancielle du parc d’appareils

L’évolution tendancielle du parc a été modélisée à partir de l’enquête GAM 2025 par projection jusqu’à horizon 2035 :

- à hauteur d’un renouvellement tendanciel de 4%/an,
- avec interdiction progressive des appareils anciens (antérieurs à 2005) à partir de 2026 (taux de respect visé de 25% à horizon 2030 et 50% à horizon 2035).

#### Fonds Air Bois (FAB)

Le dimensionnement du FAB dépend du scénario considéré :

- Dans le scénario « Maintien dynamique » : prolongation du FAB jusqu’en 2027 (selon hypothèses PPA),
- Pour le scénario PCAEM : 6230 Primes Air Bois (PAB) sur la période 2021-2030 et 8400 PAB sur la période 2021-2035.

#### Facteurs d’émissions

Les facteurs d’émission à appliquer en 2030 et 2035 sont déduits des projections de parcs décrites précédemment (par une division entre les émissions totales par polluant et la consommation de biomasse associée).

### 3.6. Hypothèses sur les principaux émetteurs industriels

Un travail important a été effectué sur les principaux émetteurs industriels du territoire afin de faire évoluer leurs émissions le plus précisément possible. En effet, les émissions BDREP actuellement exploitées sont globalisées par polluant sans distinction par installation (associée à une énergie consommée). Afin d'appliquer les évolutions de consommations d'énergie aux émissions 2022 déclarées par les principaux émetteurs industriels, ainsi que par le réseau de chaleur CCIAG, une décomposition des émissions par énergie a été réalisée pour les sites industriels disposant de ce niveau de détail.

Pour les autres gros émetteurs industriels, une réduction des émissions de 1%/an a été appliquée de façon identique entre les scénarii « Maintien dynamique » et « PCAEM ».

# 4. Analyse des résultats en émissions

## 4.1. Emissions des PM2.5

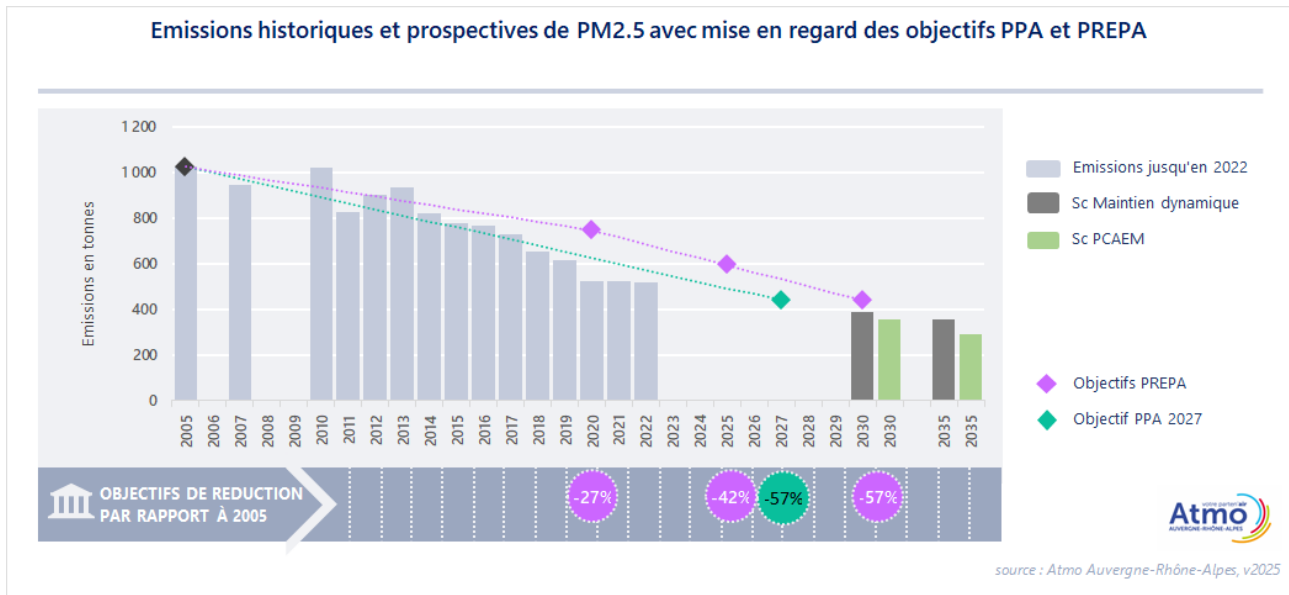
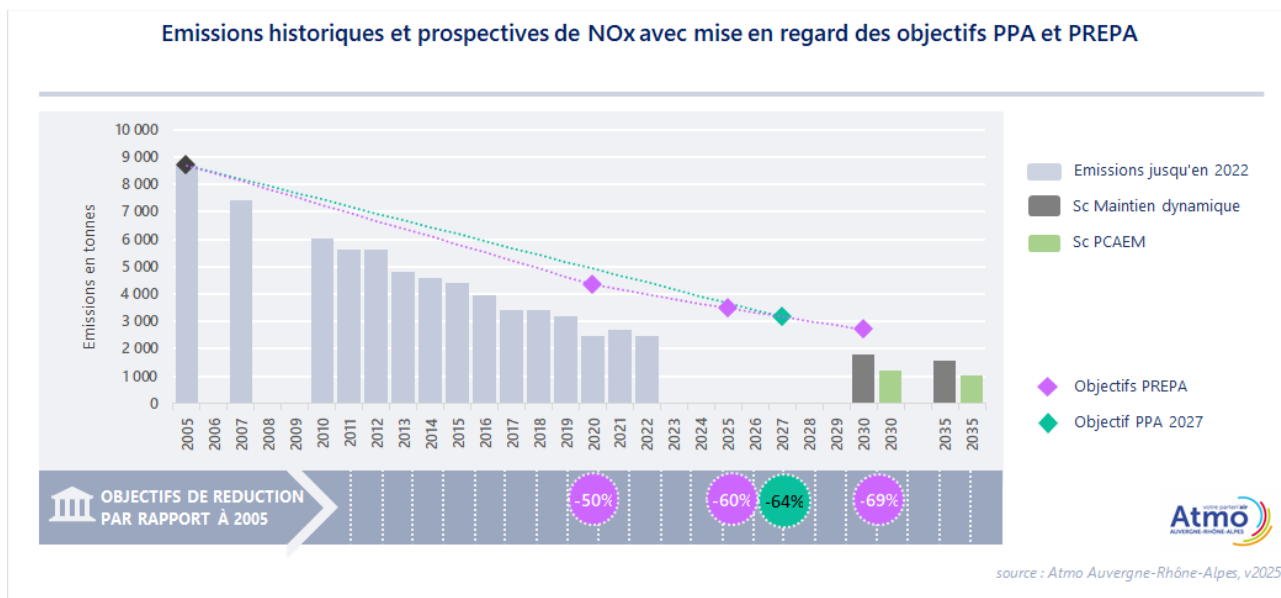


Figure 10 : Evolution des émissions de PM2.5 depuis 2005 par rapport aux objectifs réglementaires

Depuis 2005, les émissions de PM2.5 connaissent une diminution progressive, principalement grâce au renouvellement des appareils de chauffage au bois individuels, soutenu depuis 2015 par le Fonds Air Bois. De plus, des hivers de plus en plus doux et une meilleure isolation thermique des bâtiments liée aux rénovations contribuent à réduire la consommation de biomasse et les émissions historiques associées. Les objectifs des plans PREPA et PPA seront ainsi respectés dans les projections des 2 scénarios, grâce à la poursuite de ces efforts. Le Fonds Air Bois complémentaire, tel que modélisé dans le scénario PCAEM, permet d'accroître cette baisse par rapport au scénario « Maintien dynamique » d'ici à 2030. Par rapport à 2022, une baisse de 31% des émissions est attendue dans le scénario PCAEM, contre 25% pour le scénario « Maintien dynamique » en 2030.

## 4.2. Emissions de NOx

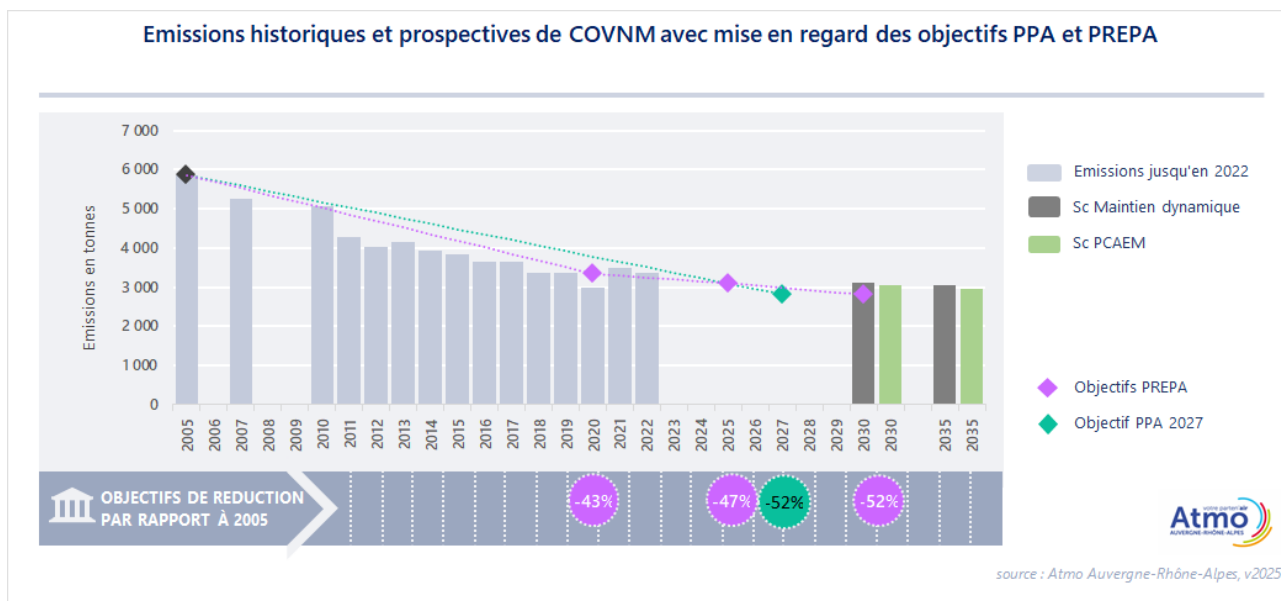


**Figure 11 : Evolution des émissions de NOx depuis 2005 par rapport aux objectifs réglementaires**

Le territoire de Grenoble Alpes Métropole a enregistré une baisse significative des émissions de NOx, principalement grâce au renouvellement du parc de véhicules accéléré par la mise en place de la ZFE-m dans le périmètre central de la Métropole, à l'abaissement des vitesses sur certaines Voies Rapides Urbaines, ainsi qu'au report modal vers des modes de déplacements moins émissifs. Les objectifs des plans PREPA et PPA sont ainsi respectés. D'ici à 2030, ces objectifs sont également largement respectés. Par rapport à 2022, une baisse de 53% est attendue dans le scénario PCAEM, contre 28% pour le scénario « Maintien dynamique » 2030, soit une réduction de plus de la moitié des émissions actuelles.

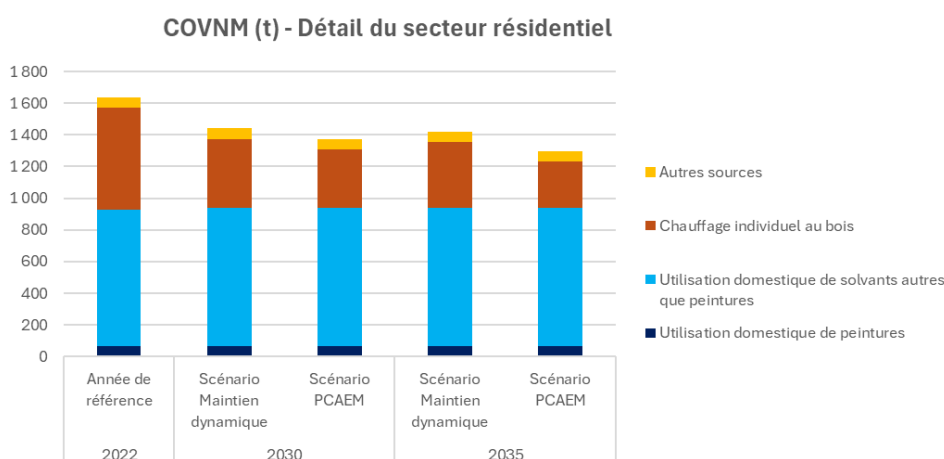
L'écart important dans la baisse d'émissions de NOx entre les 2 scénarios s'explique également par une mesure importante du PCAEM : la fin de l'usage du charbon et du fioul lourd dans l'industrie dont la combustion est à l'origine de la plupart des émissions d'oxydes d'azote.

### 4.3. Emissions de COVNM



**Figure 12 : Evolution des émissions de COVNM depuis 2005 par rapport aux objectifs réglementaires**

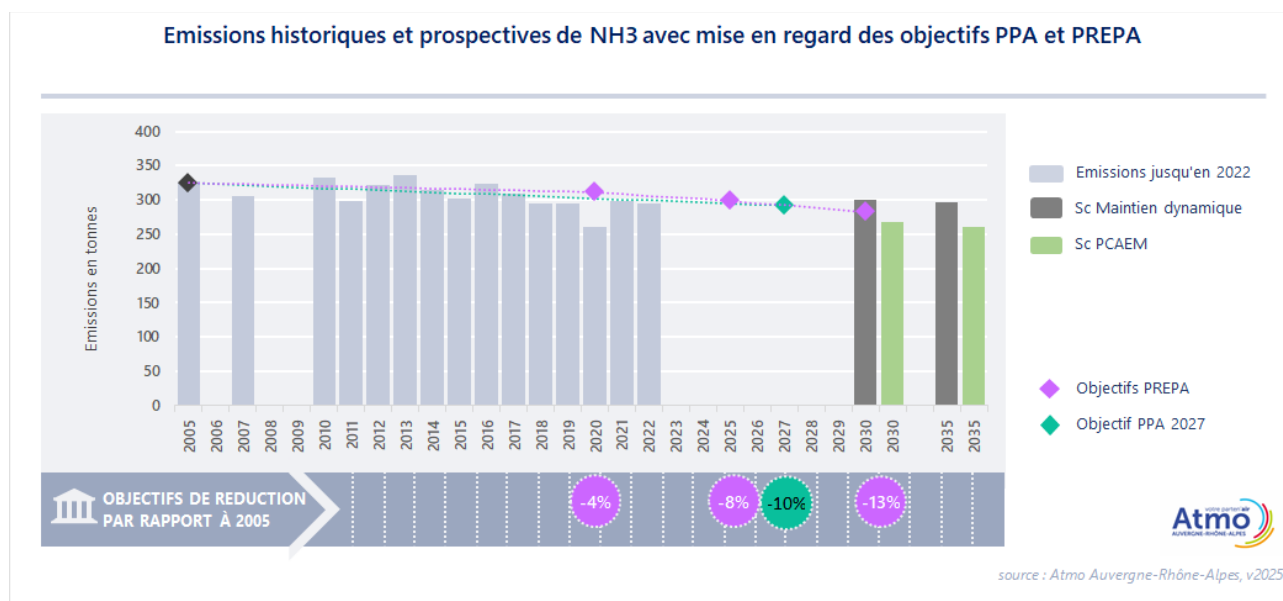
La diminution des émissions historiques de COVNM est insuffisante pour atteindre les objectifs de réduction PREPA et PPA d’ici à 2030. En effet depuis 2020, les objectifs du plan PREPA n’ont pas été atteints en raison d’une réduction insuffisante des émissions, notamment dans le secteur industriel. De plus, la plupart des leviers d’action relèvent de mesures nationales, notamment dans le secteur résidentiel/tertiaire (solvants, peintures, vernis etc.). Ainsi, de manière similaire aux autres territoires de la région, les baisses observées ne sont pas suffisamment importantes pour atteindre les objectifs. La figure suivante qui représente la contribution des différentes activités du secteur résidentiel aux émissions de COVNM confirme que le chauffage individuel au bois est le principal levier sur lequel la collectivité a la main pour réduire les émissions de COVNM.



**Figure 13 : Evolution des émissions de COVNM détaillées par postes principaux du secteur résidentiel**

Des baisses sont néanmoins prévues d’ici 2030 par rapport à 2022, de 7% pour le scénario « Maintien dynamique », et de 9% dans le scénario PCAEM.

## 4.4. Emissions de NH3

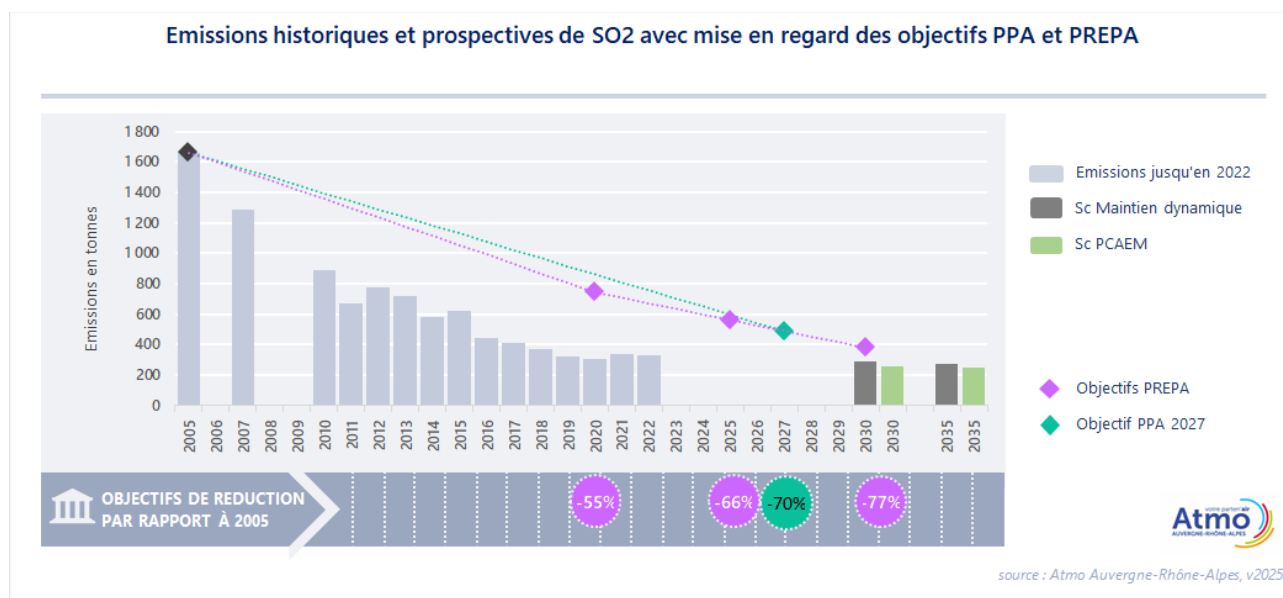


**Figure 14 : Evolution des émissions de NH3 depuis 2005 par rapport aux objectifs réglementaires**

Les émissions de NH3 sur le territoire sont essentiellement liées au secteur agricole. Or le plan intègre peu de mesures sur ce secteur, ce qui explique la faible diminution des émissions. Cependant, certaines mesures portant sur le secteur industriel permettent de diminuer les émissions de NH3 dans le scénario PCAEM. Ainsi, les objectifs PREPA et PPA sont atteints dans le scénario PCAEM, mais pas dans le scénario « Maintien dynamique ».

Une forte différence sur les émissions projetées est prévue entre les 2 scénarii : une valeur qui augmente légèrement de 2% entre 2022 et 2030 pour le scénario « Maintien dynamique », et une diminution sur cette même période de 9% selon le scénario PCAEM.

## 4.5. Emissions de SO2



**Figure 15 : Evolution des émissions de SO2 depuis 2005 par rapport aux objectifs réglementaires**

Entre 2005 et 2010, une forte diminution des émissions a été observée, principalement en raison de la réduction de la teneur en soufre des carburants et de l'utilisation de combustibles moins soufrés dans l'industrie. Les objectifs des plans PREPA et PPA sont respectés, en lien avec la décarbonation du mix énergétique. Les efforts de réduction des émissions de SO2 ont essentiellement déjà été réalisés au cours des 30 dernières années. Selon le scénario PCAEM, une baisse de 21% des émissions est attendue en 2030, contre 12% pour le scénario « Maintien dynamique » par rapport à 2022.

## 4.6. Analyse par macrosecteur d'activités

Pour l'ensemble des polluants, on observe de manière générale que le scénario PCAEM permet une diminution des émissions généralement beaucoup plus importante que le scénario « Maintien dynamique ».



**Figure 16 : Evolution des émissions par polluant et secteurs d'activités**

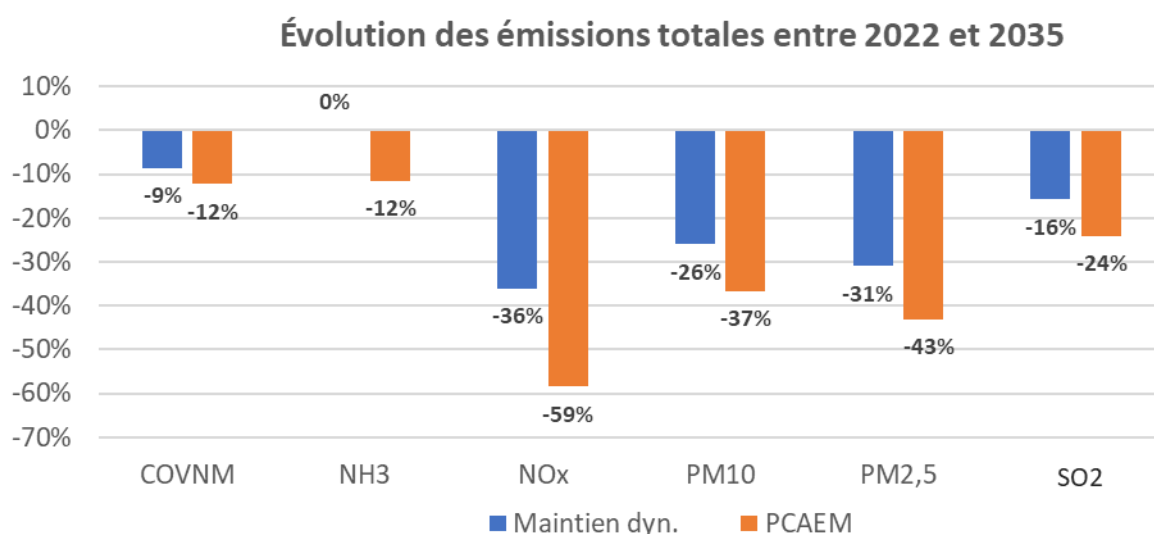
D'une part, sur le **transport routier** : les émissions de NOx de ce secteur baissent de 74% entre 2022 et 2035 selon le scénario PCAEM, contre 62% dans le scénario « Maintien dynamique ». L'impact sur la qualité de l'air le long des axes routiers est important, et visible sur les cartes de concentrations (cf chapitre 5).

Dans le secteur **résidentiel et tertiaire**, les efforts fournis sur le chauffage au bois (fonds air bois, amélioration de l'isolation thermique des bâtiments, meilleure efficacité énergétique des chauffages individuels, etc.) sont importants et permettent une forte diminution des émissions de particules fines. La mise en place du fonds air bois complémentaire accentue les baisses par rapport au scénario « Maintien dynamique ». Dans le secteur résidentiel, les PM2.5 baissent de 52% dans le scénario PCAEM en 2035 par rapport à 2022 contre 35% dans le scénario « Maintien dynamique » sur cette période.

Enfin, les efforts fournis dans le **secteur industriel**, notamment la sortie du charbon visée à horizon 2030 dans le scénario PCAEM, permet aussi de réduire les émissions de NOx, SO2 et NH3. La différence des émissions de NOx liées au secteur industriel est importante entre les 2 scénarios : une baisse de 65% des NOx en 2035 par rapport à 2022 dans le scénario PCAEM, contre seulement 21% dans le scénario « Maintien dynamique ».

## 4.7. Synthèse

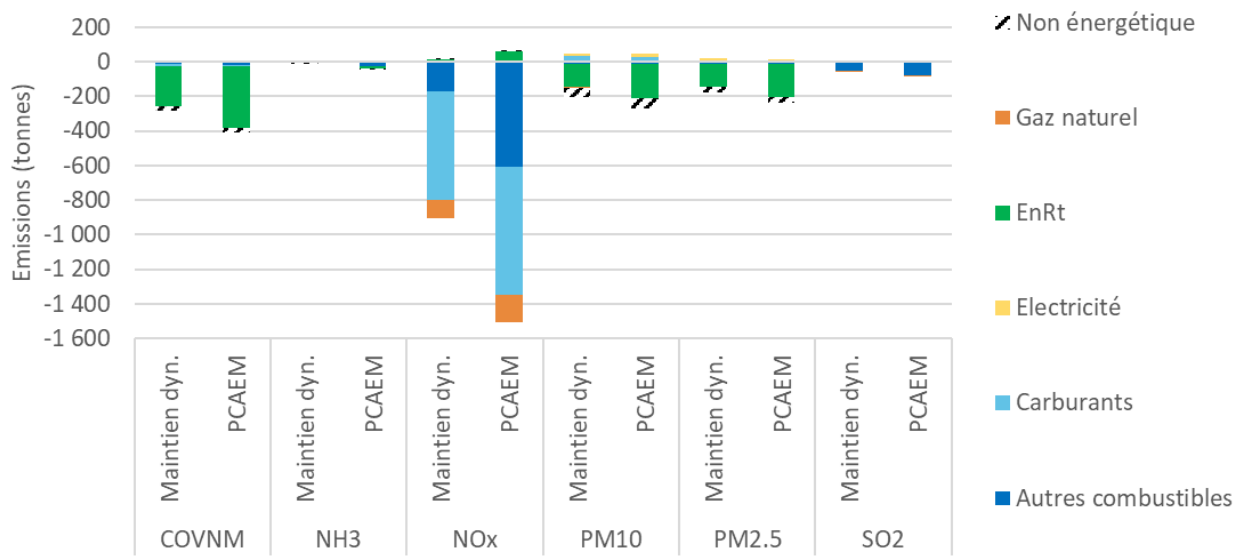
Une première synthèse présente l'évolution des émissions de polluants atmosphériques entre la situation de référence 2022 et le scénario 2035 incluant les actions du PCAEM au regard du scénario « Maintien dynamique » : le scénario prenant en compte les actions du PCAEM apporte des gains amplifiés de 22% pour les NOx, 12% pour les particules fines PM2.5, 11% pour le NH3 et 8% pour le SO2.



**Figure 17 : Pourcentage de réduction des émissions de polluants entre 2022 et 2035**

Une seconde analyse porte sur les combustibles à l'origine des baisses d'émissions : pour les NOx (exclusivement d'origine énergétique), la baisse marquée des distances parcourues par les véhicules diesel à horizon 2035 contribue à plus de la moitié des gains. La sortie du charbon et du fioul lourd dans l'industrie conduit également à des gains significatifs et différenciés entre le scénario « Maintien dynamique » et PCAEM. La diminution des consommations de gaz en faveur de l'électricité induit dans une moindre mesure des gains NOx. Le renouvellement du parc d'appareils de chauffage au bois individuel conduit à des gains significatifs pour la plupart des autres polluants, en particulier PM10/PM2.5, COVNM. De légères surémissions peuvent s'expliquer par un accroissement de la consommation de certains combustibles (biomasse à destination de petites chaufferies collectives) ou à l'électrification du parc automobile conduisant à des émissions de particules dues à l'abrasion plus élevées pour cette motorisation.

### Évolution des émissions par combustible entre 2022 et 2035



**Figure 18 : Evolution en valeur absolue des émissions de polluants entre 2022 et 2035**

# 5. Analyse des résultats en concentrations et expositions

L'impact des actions du Plan Climat sur les concentrations de polluants et l'exposition de la population est calculé pour les échéances 2030 et 2035. Afin d'évaluer cet impact, deux scénarios correspondant aux scénarios d'émissions précédemment décrits ont été modélisés avec une météo fixe correspondant à l'année de référence 2022 :

- Scénario « Maintien dynamique » 2030 et 2035 : scénario qui prend en compte les émissions 2030 puis 2035 sans mise en œuvre des actions du PCAEM ;
- Scénario PCAEM 2030 et 2035 : scénario avec actions du PCAEM qui prend en compte les émissions 2030 puis 2035 avec mise en œuvre des actions du PCAEM.

Dans les paragraphes qui suivent, sont présentés :

- les cartographies de concentrations (NO<sub>2</sub>, PM10 et PM2,5) et d'écart à la situation de référence 2022 (issue des cartographies annuelles réglementaires effectuées par Atmo Auvergne-Rhône-Alpes en 2023) relatives au scénario PCAEM. L'ensemble des cartes (dont le scénario « Maintien dynamique ») figure en annexe 2
- les indicateurs d'exposition de la population pour l'ensemble des scénarii
- un indicateur d'exposition des Etablissements Recevant du Public (ERP) calculé sur la base de la concentration annuelle **maximale** associé à chaque bâtiment (source Cerema 2018).

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

### Concentrations annuelles

Les cartes de concentrations annuelles et les gains par rapport à 2022 sont présentés ci-dessous.

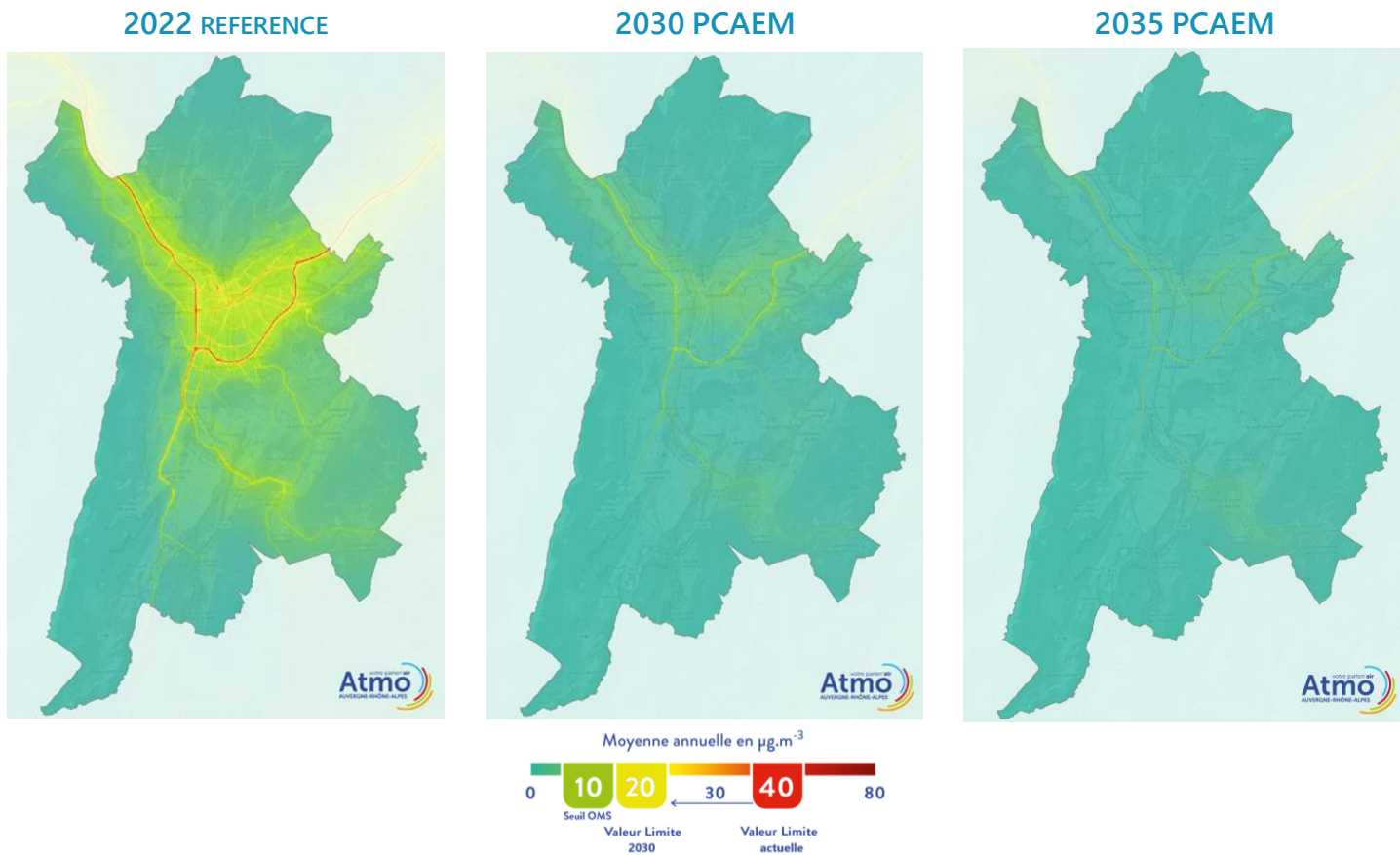


Figure 19 : Moyennes annuelles NO<sub>2</sub> en 2022 et pour les scénarii PCAEM 2030 et 2035

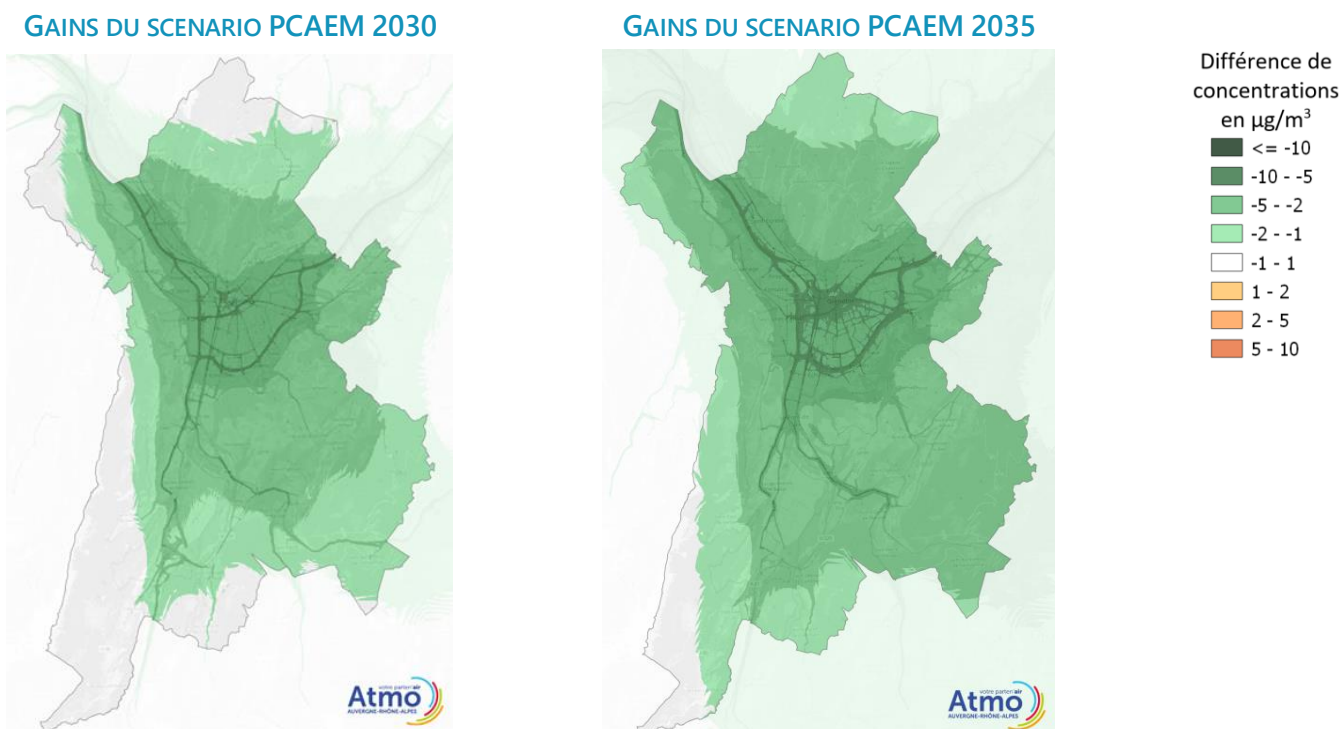


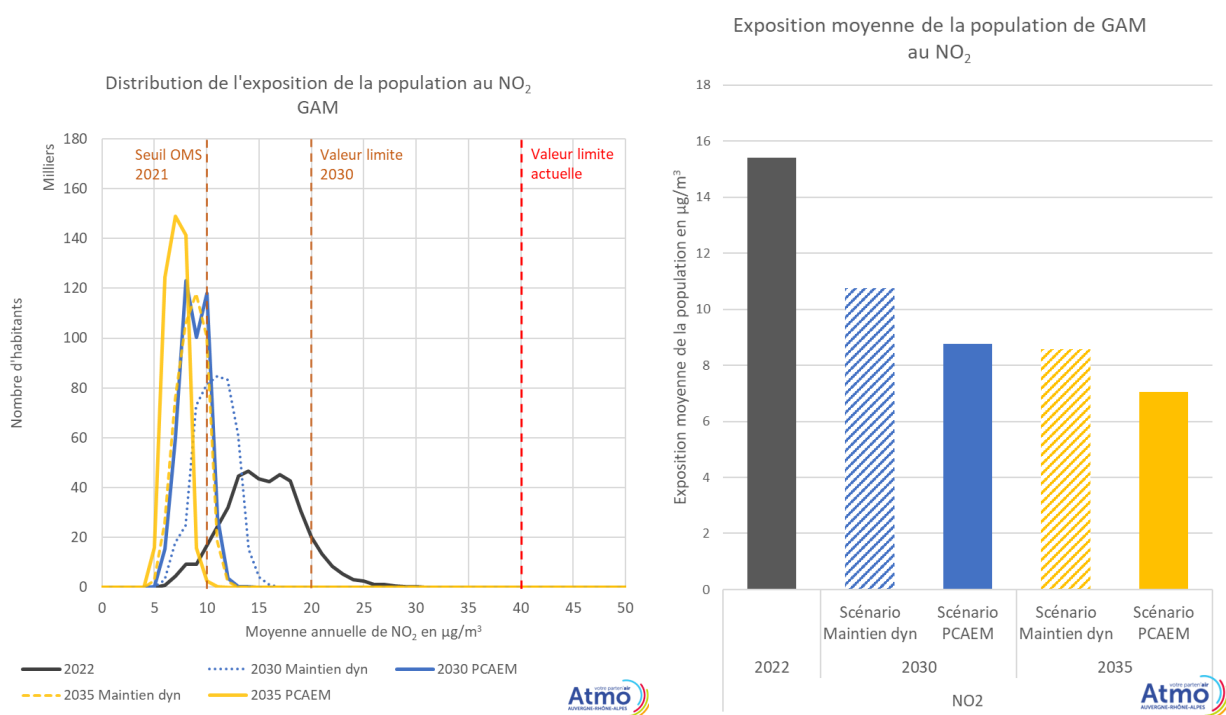
Figure 20 : Gains annuels en NO<sub>2</sub> ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ) par rapport à l'année de référence 2022

A horizon 2030, par rapport à l'année de référence 2022, le scénario PCAEM entraîne des baisses importantes de concentrations annuelles de dioxyde d'azote NO<sub>2</sub>, de l'ordre de 5 à 8 µg/m<sup>3</sup> en fond urbain, de 3 à 5 µg/m<sup>3</sup> en fond périurbain et de 10 à 16 µg/m<sup>3</sup> en proximité des voies rapides urbaines.

A horizon 2035, par rapport à l'année de référence 2022, le scénario PCAEM entraîne des baisses plus importantes de concentrations annuelles de dioxyde d'azote NO<sub>2</sub>, de l'ordre de 6 à 10 µg/m<sup>3</sup> en fond urbain, de 4 à 6 µg/m<sup>3</sup> en fond périurbain et de 15 à 19 µg/m<sup>3</sup> en proximité des voies rapides urbaines.

### Exposition moyenne des populations

La mise en place du PCAEM permet aux horizons 2030 et 2035 une **baisse supplémentaire d'environ 20% de l'exposition moyenne de la population de GAM au NO<sub>2</sub> par rapport à un scénario « Maintien dynamique »**. La mise en œuvre des actions du PCAEM permet en outre **de gagner 5 années par rapport à une situation « Maintien dynamique »**, l'exposition moyenne du scénario « PCAEM 2030 » étant équivalente à celle du scénario « Maintien dynamique 2035 ».



**Figure 21 : Distribution de l'exposition (à gauche) et exposition moyenne (à droite) de la population au NO<sub>2</sub>**

### Respect des seuils d'exposition des populations

En 2022, moins de 500 habitants de la métropole de Grenoble étaient exposés à des dépassements de la valeur réglementaire actuelle (40 µg/m<sup>3</sup>) et 175 000 habitants à la valeur limite 2030 (20 µg/m<sup>3</sup>) pour le NO<sub>2</sub> (Figure 22). A l'horizon 2030 dans le scénario « Maintien dynamique », aucun habitant ne serait exposé à la valeur limite actuelle et moins de 500 habitants seraient encore soumis à un dépassement de la valeur limite 2030. Ces habitants sont situés aux abords des axes routiers à fort trafic. **Les actions du PCAEM permettraient à l'ensemble des habitants de passer sous ce seuil réglementaire**. Elles permettraient également à plus de 99% des habitants de la métropole d'être exposés à des concentrations en NO<sub>2</sub> inférieures à la valeur cible OMS (10 µg/m<sup>3</sup>) en 2035.

L'exposition des ERP est moins favorable que celle de la population étant donné leur implantation le plus souvent en proximité de voirie circulée : à titre d'exemple dans le scénario 2030 PCAEM, 50% des ERP respectent la valeur limite réglementaire 2030 contre 67% de la population résidente.

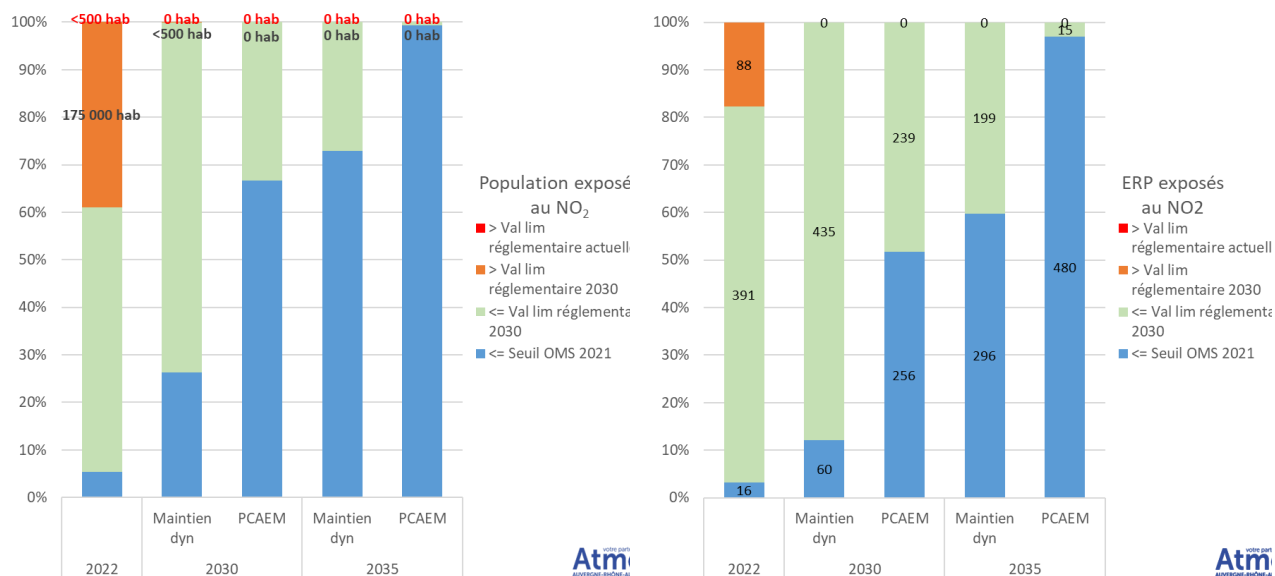


Figure 22 : Répartition de la population (à gauche) et des ERP (à droite) selon différents seuils d'exposition NO<sub>2</sub>

### Respect des seuils d'exposition aux stations

Le scénario « Maintien dynamique » 2030 prévoit encore un dépassement de la valeur limite 2030 à la station de proximité trafic « Rocade Sud Eybens », ce qui entrainerait un potentiel contentieux européen. Les actions du PCAEM permettraient d'assurer le respect de la future valeur limite à cette station en 2030 (Figure 23).

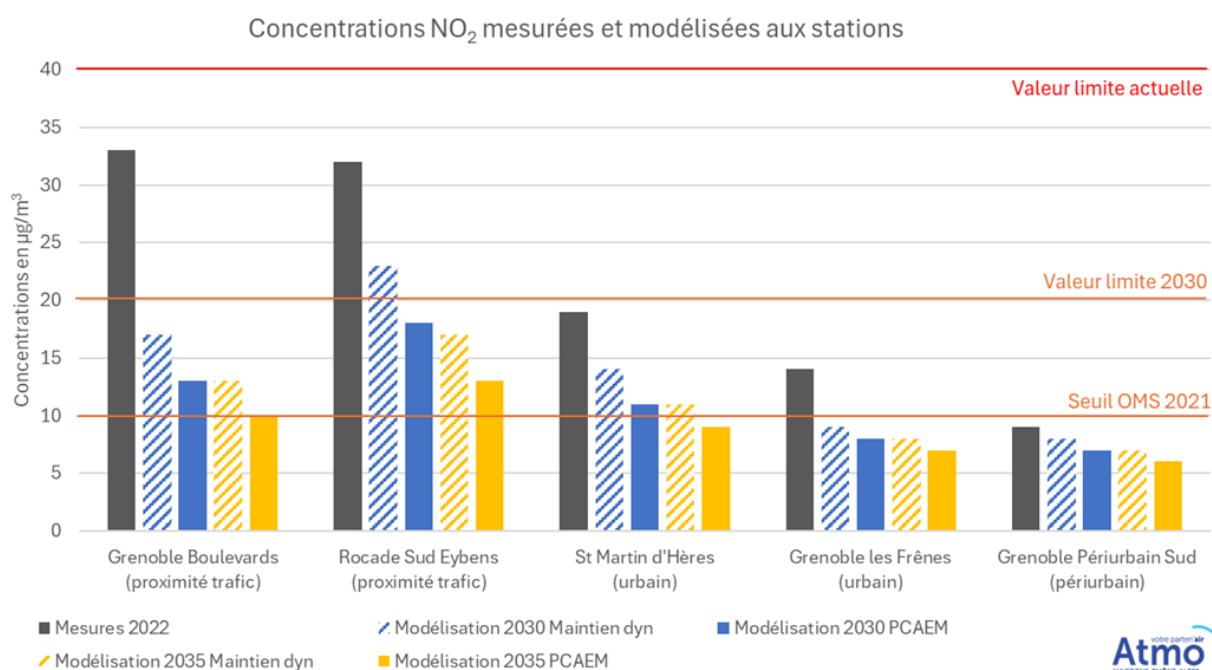


Figure 23: Concentrations de NO<sub>2</sub> mesurées et modélisées aux stations de mesures de proximité trafic

## 5.2. Concentrations et exposition de la population aux PM2,5

### Concentrations annuelles

Les cartes de concentrations annuelles et les gains par rapport à 2022 sont présentés ci-dessous.

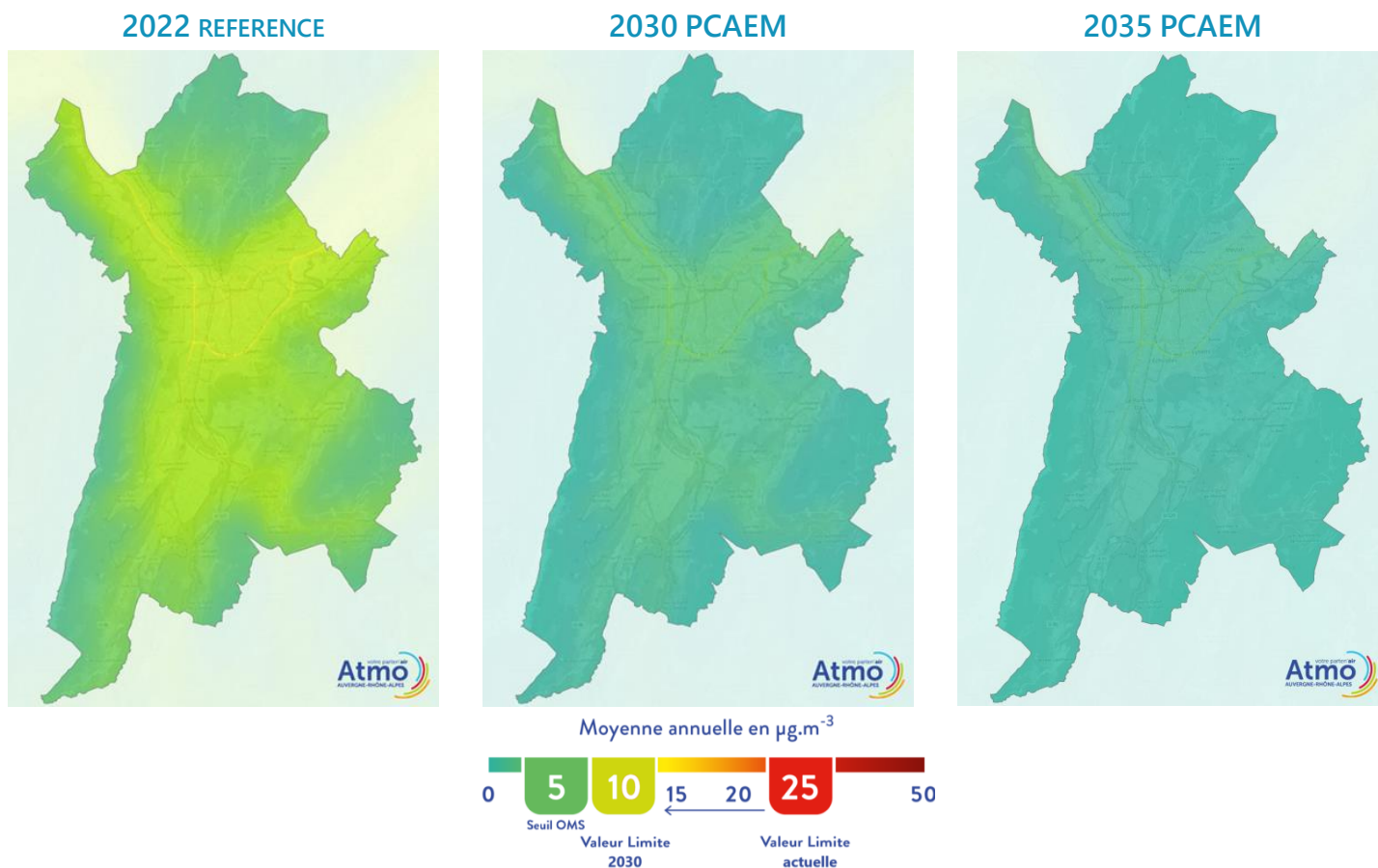


Figure 24 : Moyennes annuelles PM2.5 en 2022 et pour les scenarii, PCAEM 2030 et 2035

### GAINS DU SCENARIO PCAEM 2030



### GAINS DU SCENARIO PCAEM 2035

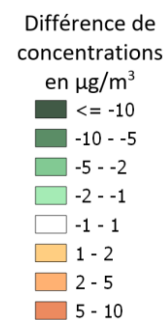
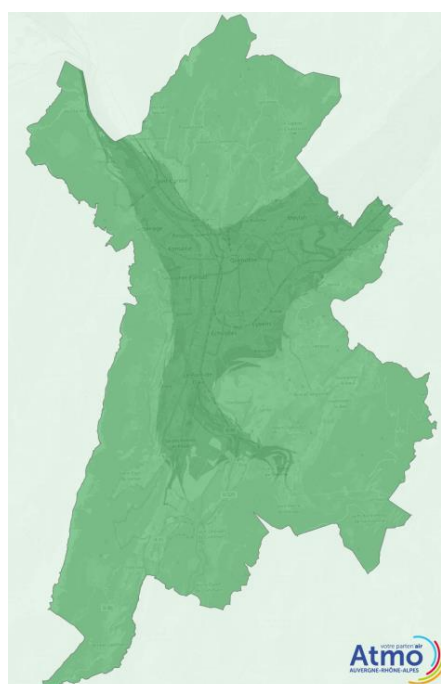


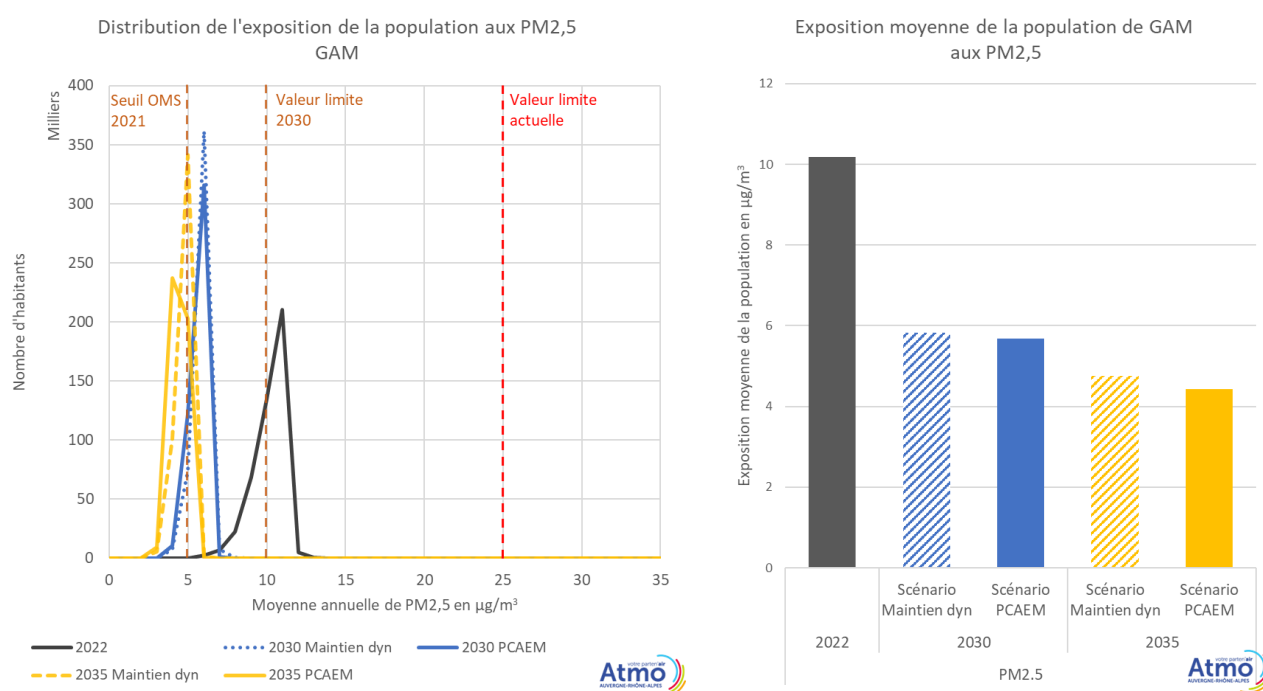
Figure 25 : Gains annuels en PM2,5 ( $\mu\text{g/m}^3$ ) par rapport à l'année de référence 2022

A horizon 2030, par rapport à l'année de référence 2022, le scénario PCAEM entraîne des baisses de concentrations comprises entre 2 et 4.5  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  en situation de fond et autour de 5.5  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  en proximité routière (Figure 24 et Figure 25).

A horizon 2035, par rapport à l'année de référence 2022, le scénario PCAEM entraîne des baisses de concentrations supérieure à 3  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  en zone périurbaine pouvant atteindre 6.5  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  au centre de Grenoble.

### Exposition moyenne des populations

La mise en place du PCAEM permet en 2035 une baisse de 7% de l'exposition moyenne de la population de GAM aux PM<sub>2,5</sub> par rapport à une situation « Maintien dynamique » (Figure 26), ce qui correspond à une diminution de l'exposition de plus de 50% par rapport à la situation de référence 2022.



**Figure 26 : Distribution de l'exposition (à gauche) et exposition moyenne (à droite) de la population aux PM<sub>2,5</sub>**

### Respect des seuils d'exposition des populations

En termes de dépassement des différents seuils, aucun habitant n'est soumis à des dépassements de la valeur limite réglementaire actuelle (25  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ) depuis 2022 (Figure 27). En 2022, près de 350 000 habitants restent soumis à un dépassement de la valeur limite 2030 (10  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ). En 2030, ce seuil est respecté par l'ensemble de la population, y compris dans le scénario « Maintien dynamique ».

Par rapport à la valeur cible OMS, si 7 500 habitants sont exposés à un niveau inférieur dans le scénario « Maintien dynamique 2030 », la mise en place des actions du PCAEM permet à 2 500 habitants supplémentaires de « passer sous ce seuil ». A horizon 2035, près de 55% de la population serait sous le seuil OMS grâce aux actions du PCAEM (contre 25% dans le scénario « Maintien dynamique 2035 »).

L'exposition des ERP à horizon 2030 est équivalent à celle de la population. En revanche à horizon 2035, moins de 10% des ERP respecte le seuil de recommandation OMS dans le scénario PCAEM contre 54% pour la population.



**Figure 27 : Répartition de la population (à gauche) et des ERP (à droite) selon différents seuils d'exposition PM2,5**

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

#### Concentrations annuelles

Les cartes de concentrations annuelles et les gains par rapport à 2022 sont présentés ci-dessous.

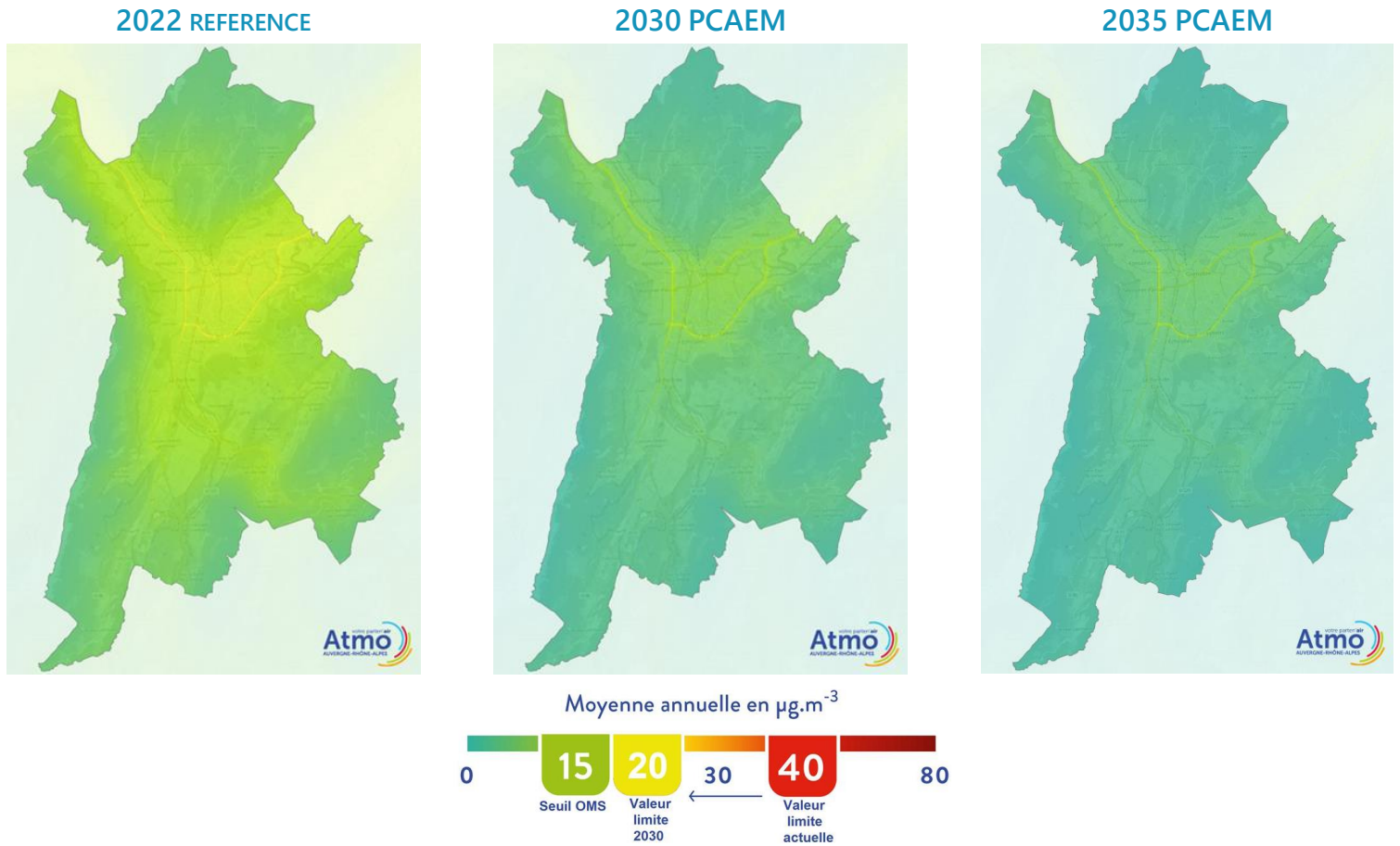


Figure 28 : Moyennes annuelles PM10 en 2022 et pour les scenarii, PCAEM 2030 et 2035

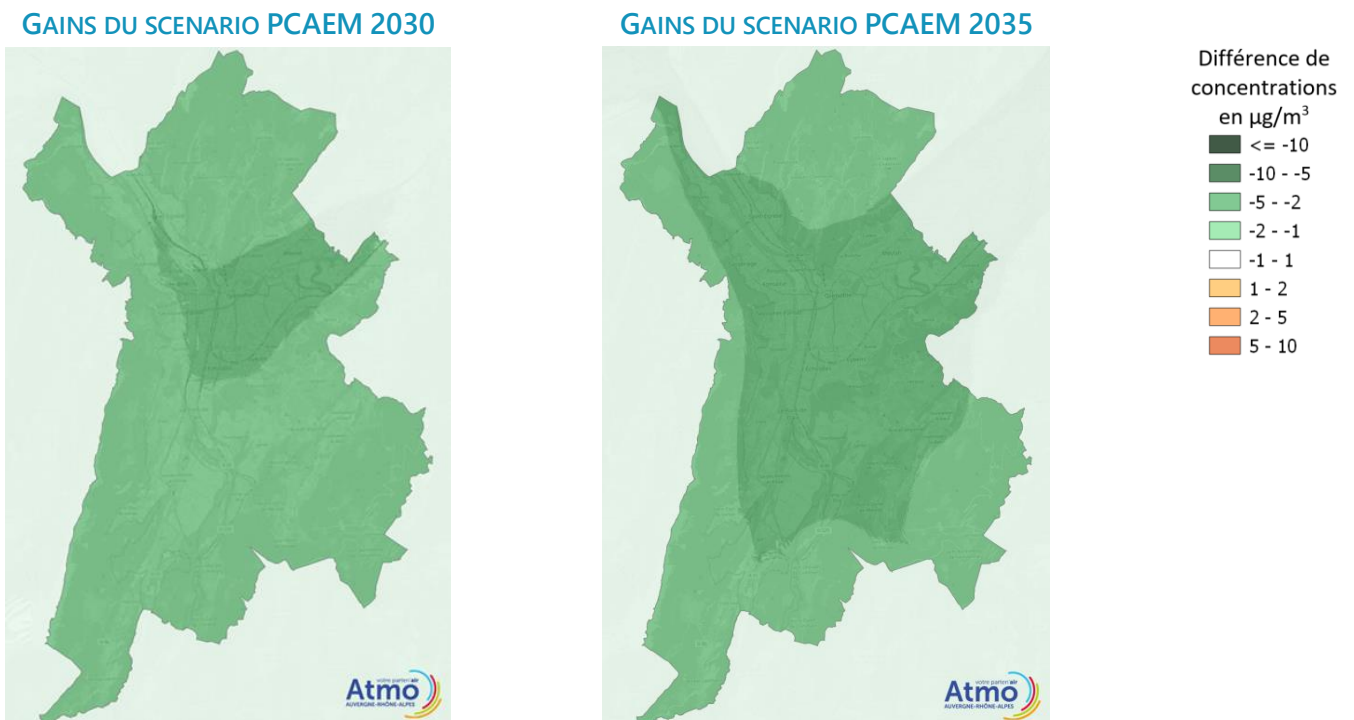


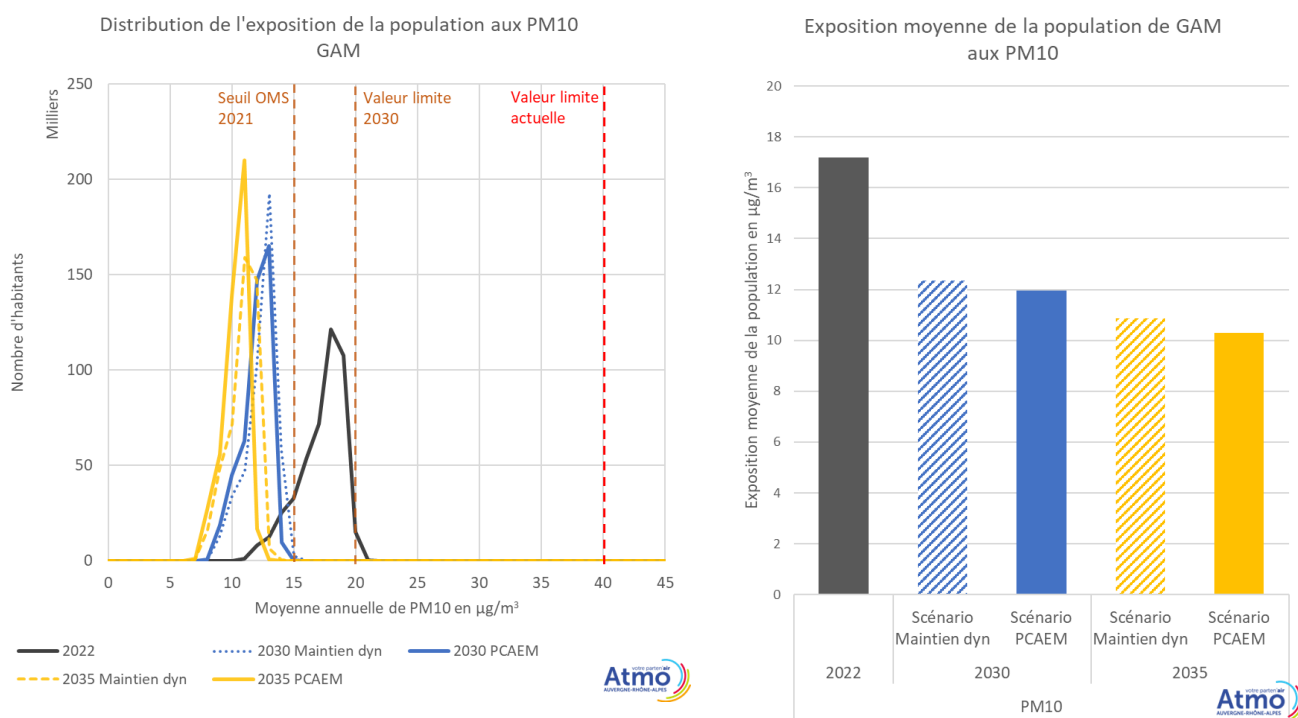
Figure 29 : Gains annuels en PM10 ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ) par rapport à l'année de référence 2022

A horizon 2030, par rapport à l'année de référence 2022, le scénario PCAEM entraîne des baisses de concentrations autour de  $3 \mu\text{g}/\text{m}^3$  en situation de fond et autour de  $6 \mu\text{g}/\text{m}^3$  au center de Grenoble.

A horizon 2035, par rapport à l'année de référence 2022, le scénario PCAEM entraîne des baisses de concentrations supérieure à  $4 \mu\text{g}/\text{m}^3$  en zone périurbaine pouvant atteindre  $8 \mu\text{g}/\text{m}^3$  au centre de Grenoble.

### Exposition moyenne des populations

La mise en place du PCAEM permet aux horizons 2030 et 2035 une baisse de 5% de l'exposition moyenne de la population de GAM aux PM10 par rapport à une situation « Maintien dynamique » (Figure 30). Rapportée à l'année de référence 2022, l'exposition moyenne aux PM10 diminue de 40% dans le scénario « PCAEM 2035 ».

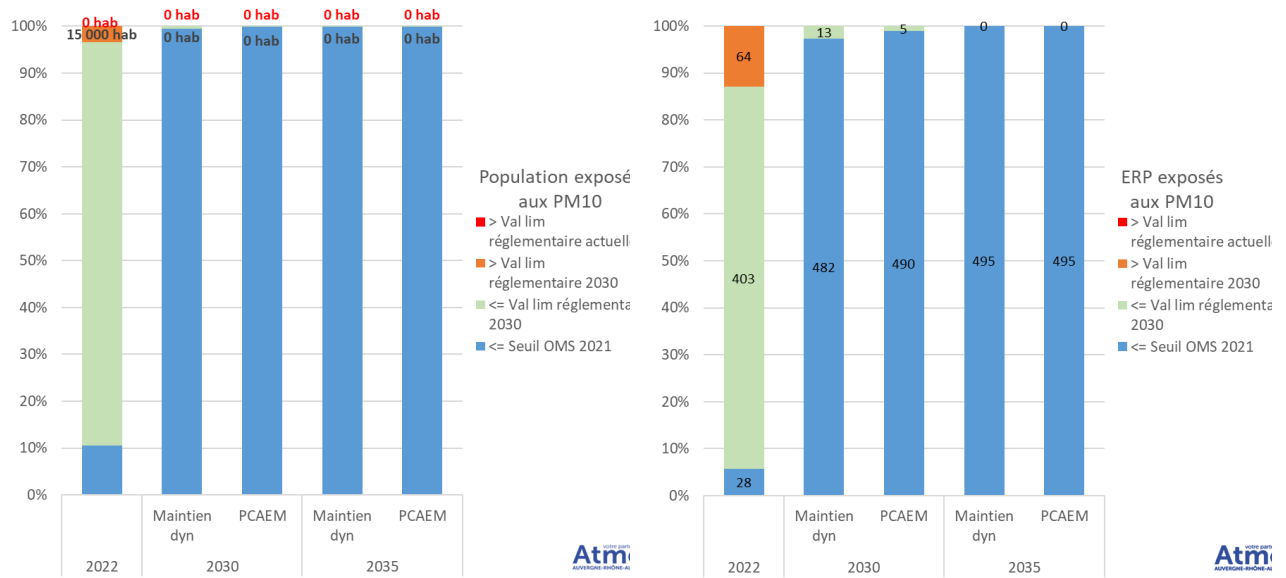


**Figure 30 : Distribution de l'exposition (à gauche) et exposition moyenne (à droite) de la population aux PM10**

### Respect des seuils d'exposition des populations

En termes de dépassement des différents seuils, aucun habitant n'est soumis à des dépassement de la valeur limite réglementaire actuelle ( $40 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ) dès 2022. Si la valeur limite 2030 ( $20 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ) concerne encore 15 000 habitants en 2022, plus aucun habitant n'y est exposé dès 2030 (Figure 31). Quant à la valeur cible OMS ( $15 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ), 99,5% n'y serait plus exposé dans le scénario maintien dynamique 2030 et les actions du PCAEM permettraient d'atteindre le taux de 99.9%. A horizon 2035, l'ensemble de la population de la métropole de Grenoble devrait être exposée à des niveaux de concentrations PM10 inférieurs au seuil OMS.

L'exposition des ERP est globalement équivalente à celle de la population quel que soit l'horizon considéré.



**Figure 31 : Répartition de la population (à gauche) et des ERP (à droite) selon différents seuils d'exposition PM10**

## 6. Conclusion

Les modélisations réalisées sur les émissions de polluants atmosphériques, les concentrations en polluants qui en résultent et les populations exposées associées montrent des bénéfices marqués à accorder aux actions du Plan Climat. Le tableau suivant synthétise les indicateurs à retenir de ces travaux. Les émissions à climat normalisé sont également présentées par cohérence avec les indicateurs suivis dans le cadre de l'observatoire local GAM.

Indicateur	Polluant	2005	2022	2030 Maintien dyn	2030 PCAEM	2035 Maintien dyn	2035 PCAEM
Emissions (tonnes)	NOx	8 659	2 448	1 808	1 205	1 585	1 029
	PM10	1 157	616	491	455	455	389
	PM10 normalisé	1 111	689	550	509	509	435
	PM2.5	1 023	515	388	354	355	293
	PM2.5 normalisé	1 065	586	442	403	404	333
	COVNM	5 867	3 351	3 112	3 045	3 065	2 941
	SO2	1 661	329	292	260	277	249
	SO2 normalisé	1 647	335	298	265	282	254
	NH3	325	295	300	268	296	261
	NH3 normalisé	319	308	313	280	309	272
Concentrations moyennes annuelles (µg/m3)	NO2		15.4	10.8	8.8	8.6	7.1
	PM10		17.2	12.4	11.9	10.9	10.3
	PM2.5		10.2	5.8	5.7	4.8	4.4
Nb habitants exposés VLE 2030	NO2		175 000	<500	0	0	0
	PM10		15 000	0	0	0	0
	PM2.5		350 000	0	0	0	0
Nb habitants exposés OMS 2021	NO2		426 000	331 000	150 000	122 000	3 000
	PM10		402 000	2 700	650	<200	<200
	PM2.5		450 000	442 000	439 000	343 000	203 000
Population référence			449 488	449 488	449 488	449 488	449 488

**Figure 32 : Synthèse des indicateurs Emissions, concentrations et exposition aux valeurs réglementaires ou OMS**

Les actions du PCAEM permettent d'amplifier (pour certaines systématiquement) les baisses d'émissions de polluants atmosphériques du scénario « Maintien dynamique », afin de garantir l'atteinte des objectifs nationaux 2030 (PREPA) et locaux 2027 (PPA). Une vigilance est à noter sur les émissions de COVNM dont l'évolution depuis ces dernières années 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 plus favorable laissent entrevoir le respect des objectifs).

Concernant les concentrations annuelles et les populations exposées aux dépassements réglementaires, les actions du PCAEM permettent, contrairement au scénario « Maintien dynamique », de ne plus dépasser en aucun point du territoire la valeur limite réglementaire NO2 (20 µg/m3 en moyenne annuelle) en 2030. Concernant les PM2.5, le scénario PCAEM permet à près de 55% de la population de passer sous le seuil OMS à l'horizon 2035 contre moins de 25% dans le scénario « Maintien dynamique ».

Ces bons résultats attendus sont bien évidemment conditionnés par la mise en œuvre de l'ensemble des mesures prévues dans le PCAEM grenoblois.

## 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.

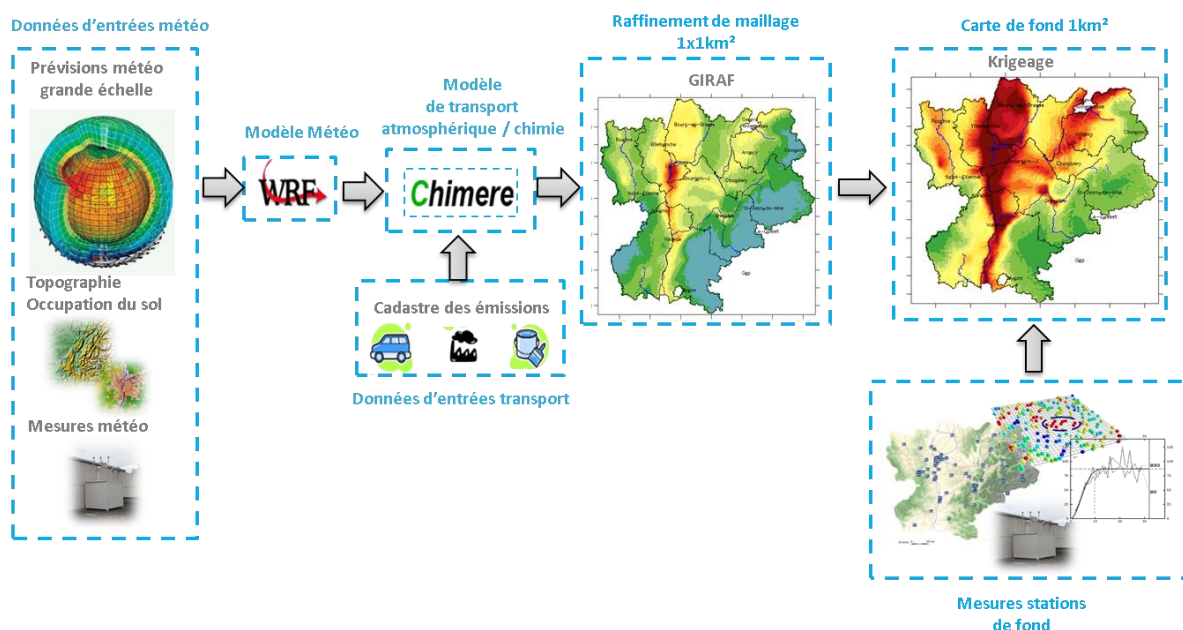
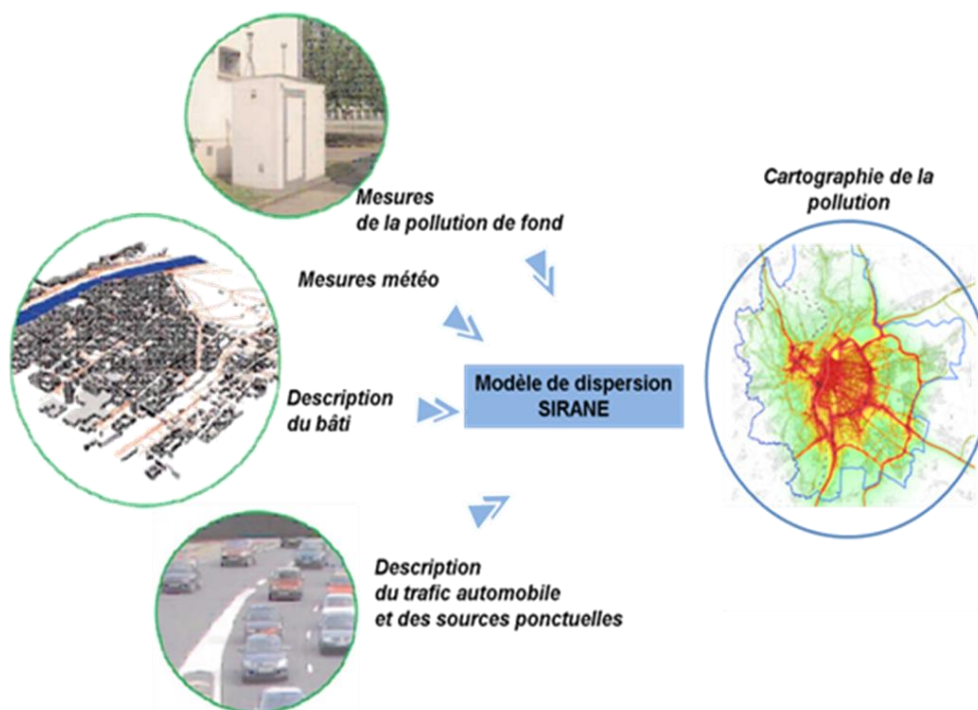


Schéma de mise en œuvre de la chaîne de modélisation régionale

<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.

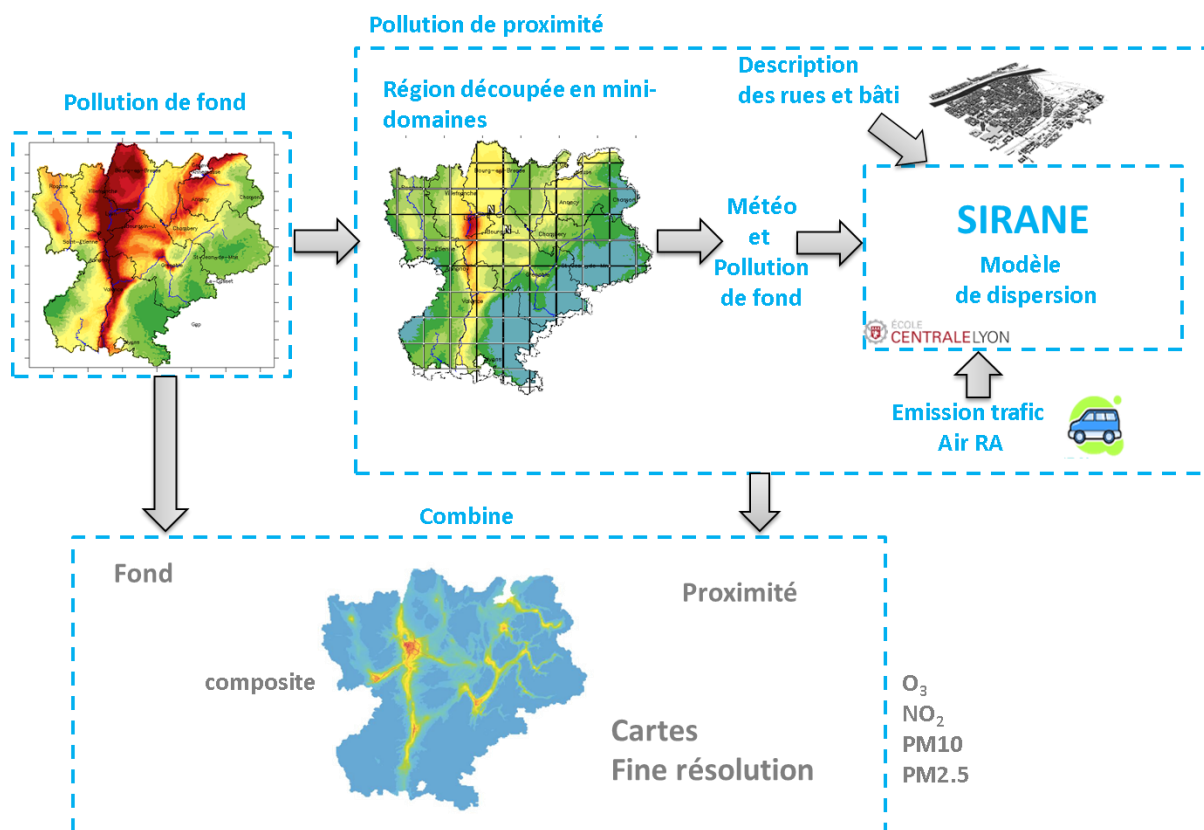


Schéma de principe de combinaison des modèles régionaux et fine échelle

### **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 2022 et année prospective 2030) :

$$\frac{(MOD\ corrigée_{(2022)}^i - MOD\ corrigée_{(2030)}^i)}{MOD\ corrigée_{(2022)}^i} = \frac{(MOD\ brut_{(2022)}^i - MOD\ brut_{(2030)}^i)}{MOD\ brut_{(2022)}^i}$$

Avec :

$MOD\ corrigée^i_{(2022)}$  : Concentration corrigée par krigeage des mesures en 2022 à la maille i

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

$MOD\ brut^i_{(2022)}$  : Concentration brute modélisée en 2022 à la maille i

$MOD\ brut^i_{(2030)}$  : 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 :

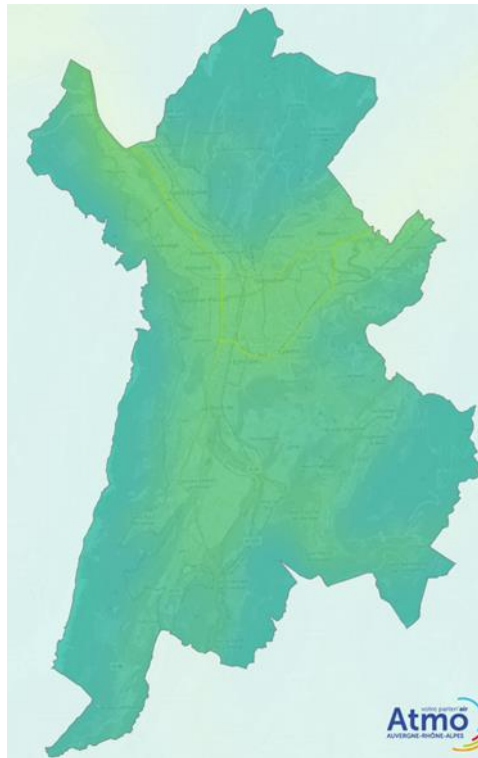
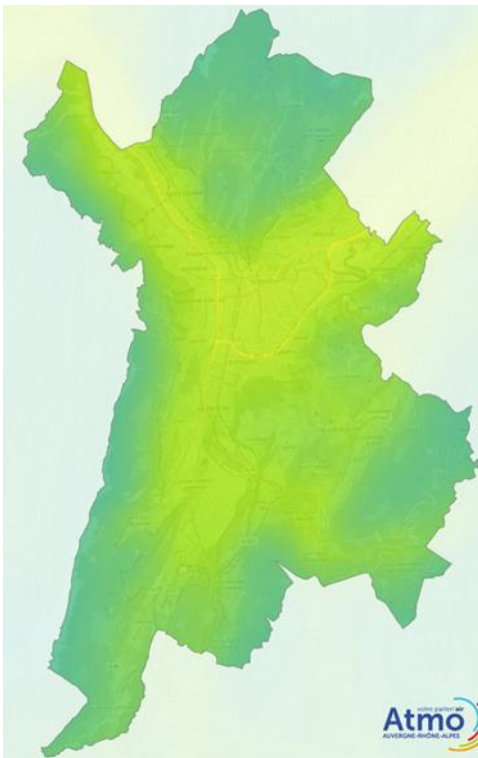
$$MOD\ corrigée^i_{(2030)} = MOD\ corrigée^i_{(2022)} * \frac{MOD\ brut^i_{(2030)}}{MOD\ brut^i_{(2022)}}$$

## Annexe 2 : cartes complémentaires de concentrations Moyennes annuelles NO2

2022 REFERENCE

2030 MAINTIEN DYN

2030 PCAEM



2035 MAINTIEN DYN

2035 PCAEM

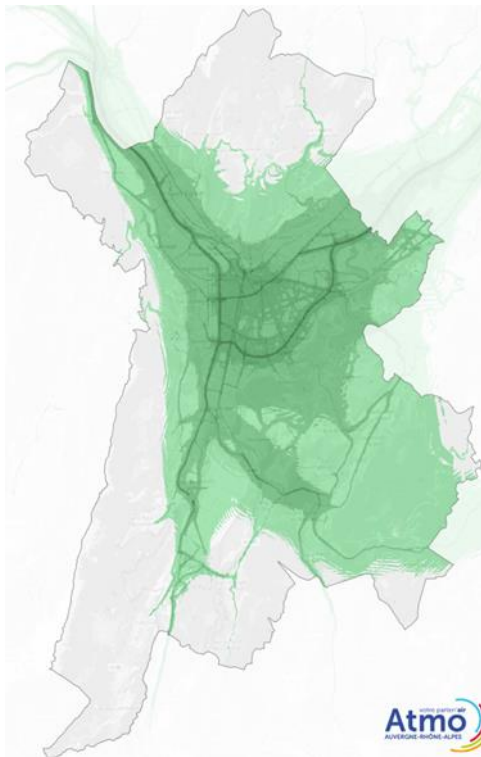


Moyenne annuelle en  $\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$

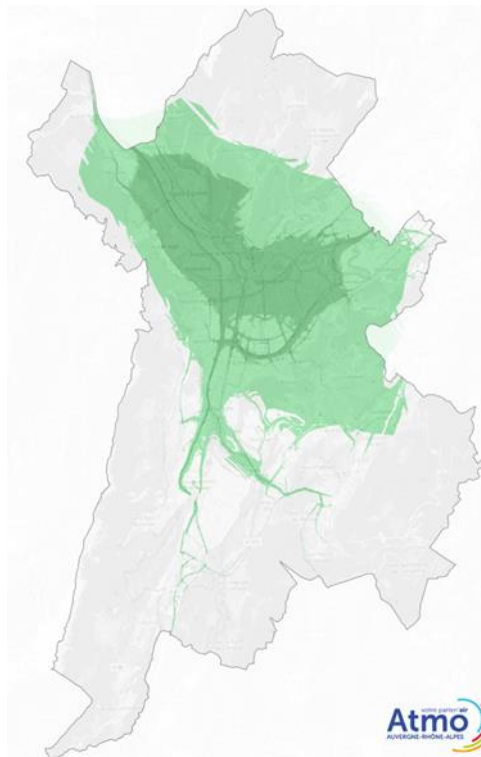


# Ecarts NO2

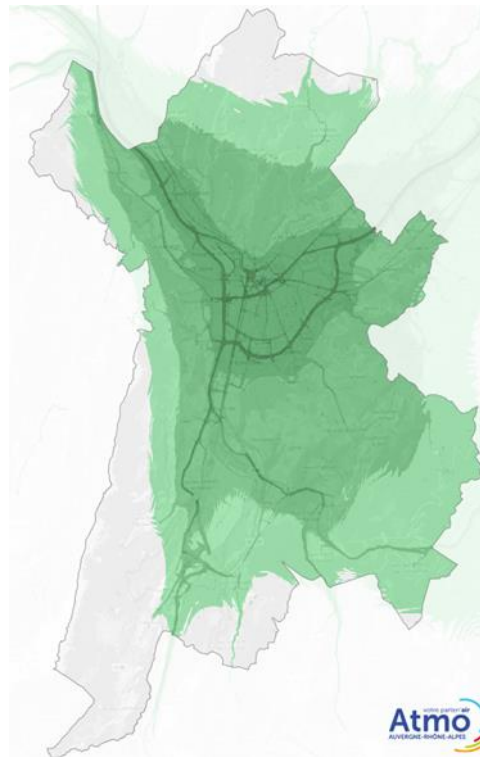
GAINS ENTRE 2022 ET 2030 MAINTIEN DYNAMIQUE



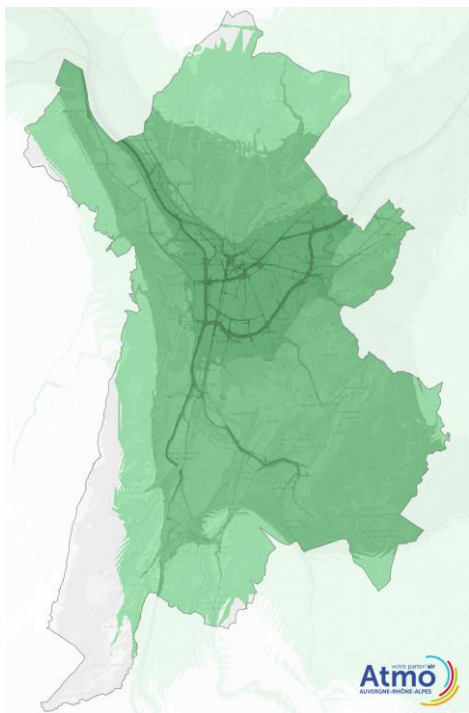
GAINS ENTRE 2030 MAINTIEN DYNAMIQUE ET 2030 PCAEM



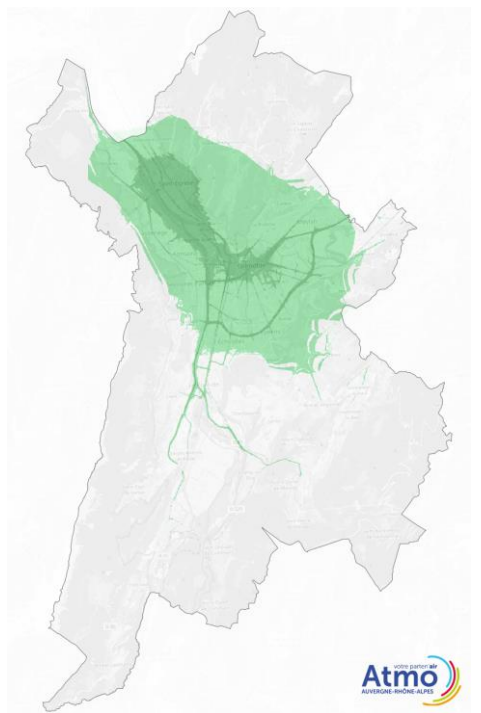
GAINS ENTRE 2022 ET 2030 PCAEM



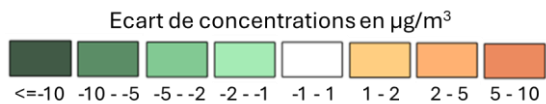
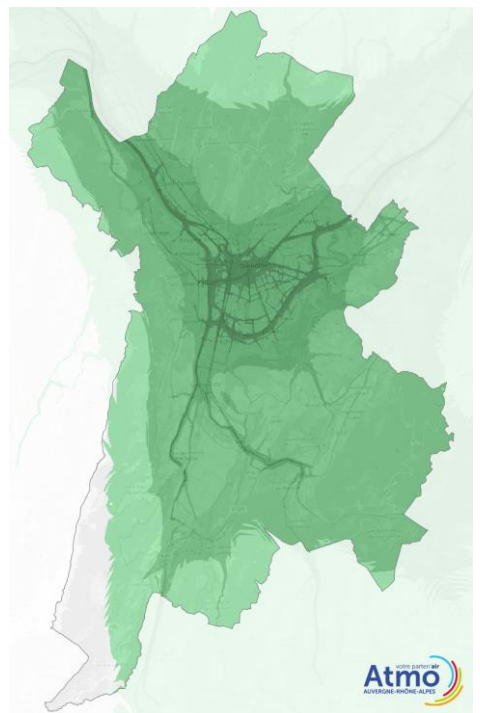
GAINS ENTRE 2022 ET 2035 MAINTIEN DYNAMIQUE



GAINS ENTRE 2035 MAINTIEN DYNAMIQUE ET 2035 PCAEM



GAINS ENTRE 2022 ET 2035 PCAEM



**En 2030 :**

- Importante baisse des concentrations de NO<sub>2</sub> du scénario « Maintien dynamique » par rapport à 2022
  - Baisse des concentrations entre 2022 et 2030 dépendant de la proximité des axes trafic :
    - Inférieur à 2 µg/m<sup>3</sup> en situation de fond périurbain
    - De 3 à 6 µg/m<sup>3</sup> en situation de fond urbain
    - Supérieure à 10 µg/m<sup>3</sup> à proximité des axes à fort trafic (autoroute, A480, rocade Sud...)
- Fort impact du scénario PCAEM sur les concentrations NO<sub>2</sub> par rapport à la situation « Maintien dynamique »
  - Gains entre 2 et 4 µg/m<sup>3</sup> en situation de fond urbain
  - Autour de 6 µg/m<sup>3</sup> à proximité des axes à fort trafic (autoroute, A480, rocade Sud...)

**En 2035 :**

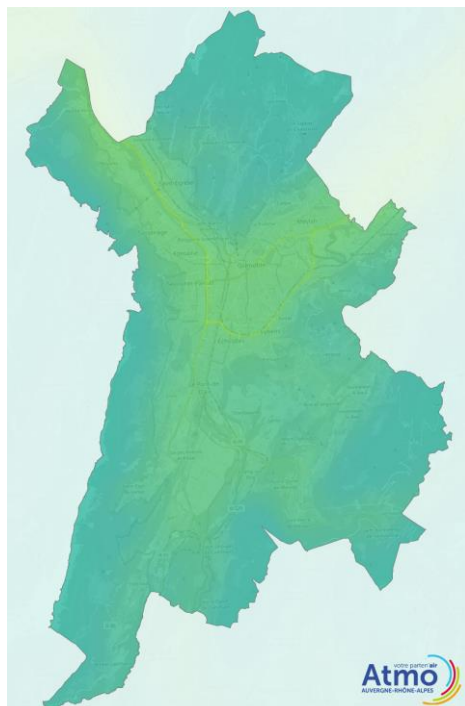
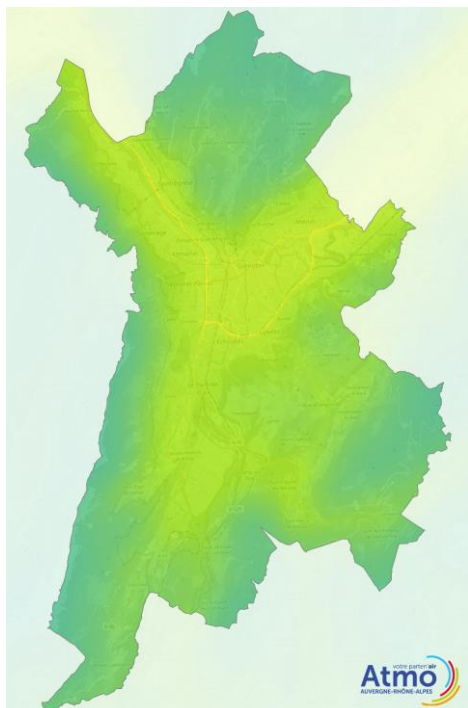
- Importante baisse des concentrations de NO<sub>2</sub> du scénario « Maintien dynamique » par rapport à 2022
  - Baisse des concentrations entre 2022 et 2035 dépendant de la proximité des axes trafic :
    - De 4 à 7 µg/m<sup>3</sup> en situation de fond urbain
    - Supérieure à 15 µg/m<sup>3</sup> à proximité des axes à fort trafic (autoroute, A480, rocade Sud...)
- Fort impact du scénario PCAEM sur les concentrations NO<sub>2</sub> par rapport à la situation « Maintien dynamique »
  - Gains entre 1 et 3 µg/m<sup>3</sup> en situation de fond urbain
  - Autour de 4 µg/m<sup>3</sup> à proximité des axes à fort trafic (autoroute, A480, rocade Sud...)

# Moyennes annuelles PM2.5

2022 REFERENCE

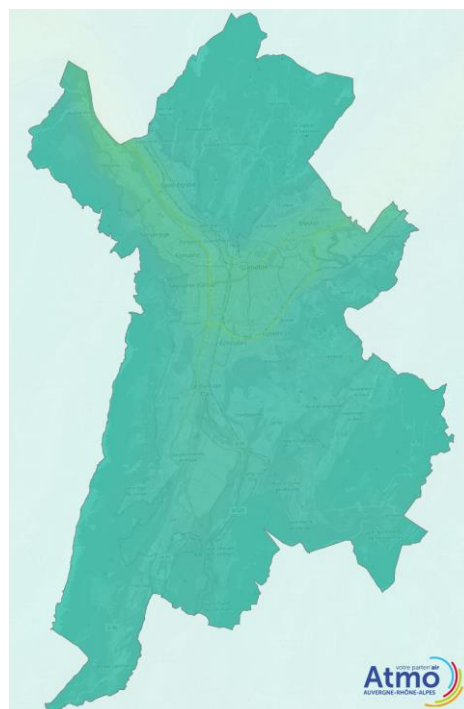
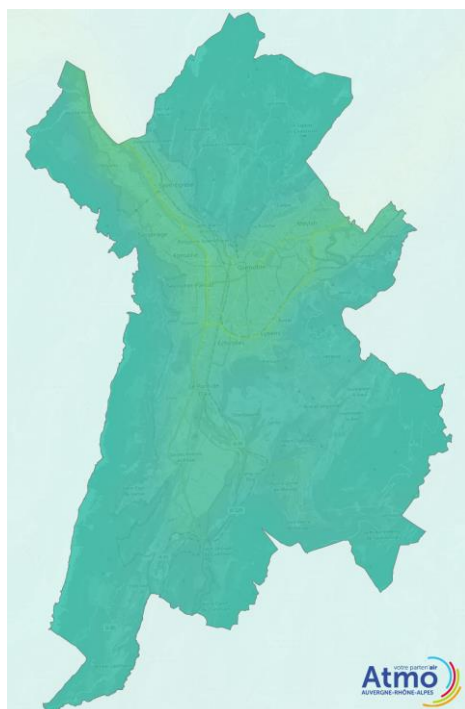
2030 MAINTIEN DYN

2030 PCAEM



2035 MAINTIEN DYN

2035 PCAEM

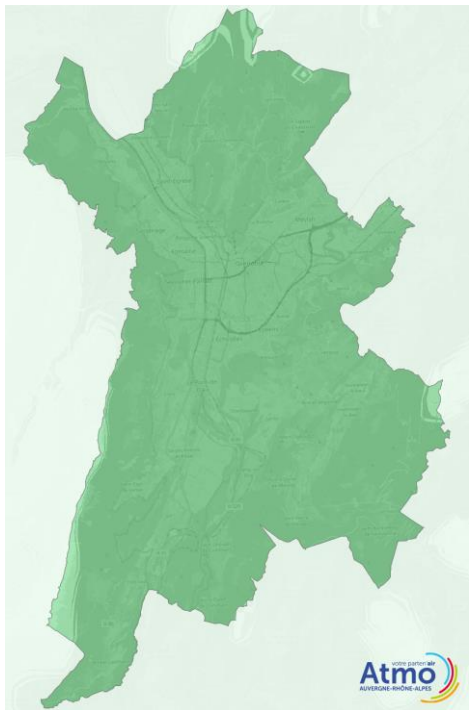


Moyenne annuelle en  $\mu\text{g.m}^{-3}$



# Ecarts PM2.5

GAINS ENTRE 2022 ET 2030 MAINTIEN DYNAMIQUE



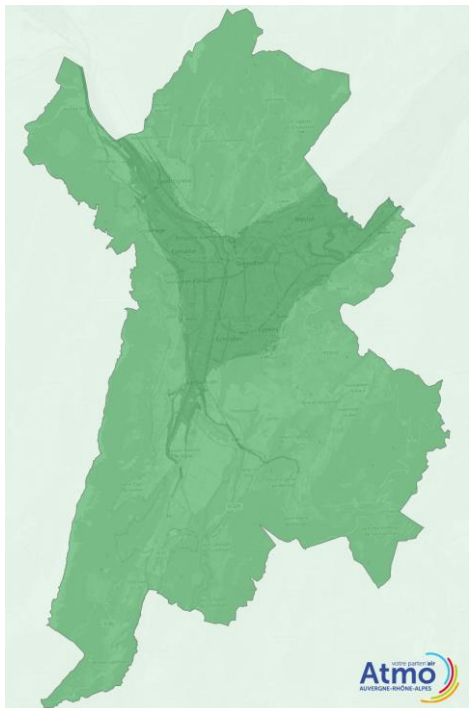
GAINS ENTRE 2030 MAINTIEN DYNAMIQUE ET 2030 PCAEM



GAINS ENTRE 2022 ET 2030 PCAEM



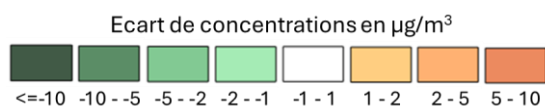
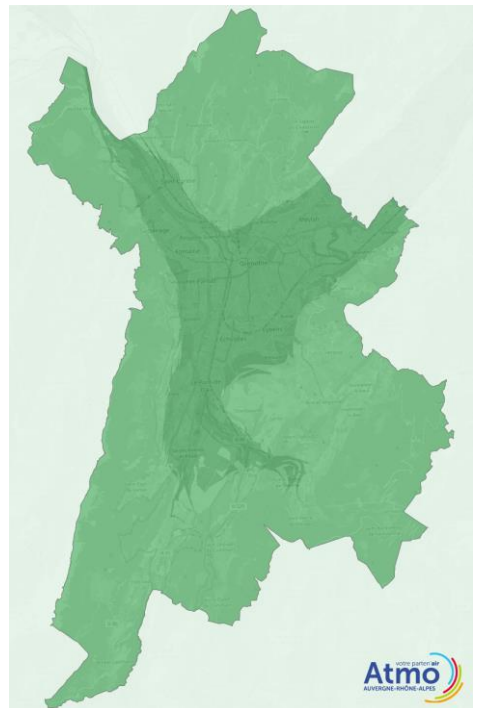
GAINS ENTRE 2022 ET 2035 MAINTIEN DYNAMIQUE



GAINS ENTRE 2035 MAINTIEN DYNAMIQUE ET 2035 PCAEM



GAINS ENTRE 2022 ET 2035 PCAEM



**En 2030 :**

- Importante baisse tendancielle des concentrations de PM<sub>2,5</sub> par rapport à 2022
  - Baisse globale d'environ 35% des concentrations entre 2022 et 2030 :
    - Gains entre 2 à 4 µg/m<sup>3</sup> en situation de fond
    - Autour de 5 µg/m<sup>3</sup> en proximité trafic
- Impact négligeable du scénario PCAEM sur les concentrations PM<sub>2,5</sub> par rapport à la situation tendancielle
  - Gains inférieurs à 0,5 µg/m<sup>3</sup> (<5%)

**En 2035 :**

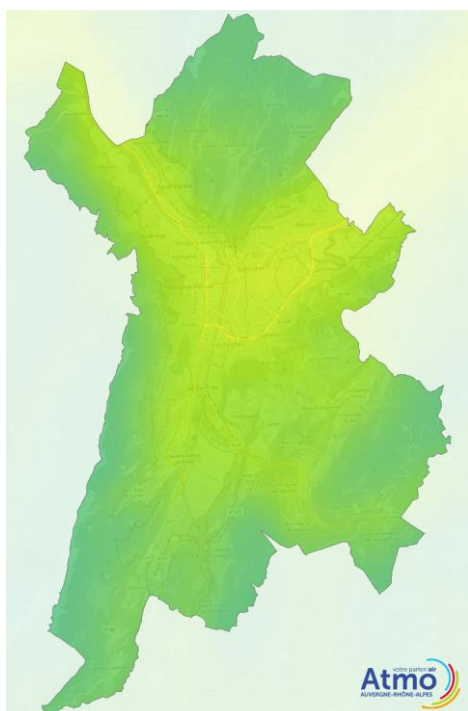
- Importante baisse tendancielle des concentrations de PM<sub>2,5</sub> par rapport à 2022
  - Baisse globale d'environ 45% des concentrations entre 2022 et 2035 :
    - Supérieure à 3 µg/m<sup>3</sup> en situation de fond périurbain
    - Pouvant atteindre 6 µg/m<sup>3</sup> à Grenoble
- Impact négligeable du scénario PCAEM sur les concentrations PM<sub>2,5</sub> par rapport à la situation tendancielle
  - Gains inférieurs à 0,5 µg/m<sup>3</sup> (<7%)

# Moyennes annuelles PM10

2022 REFERENCE

2030 MAINTIEN DYN

2030 PCAEM



2035 MAINTIEN DYN

2035 PCAEM

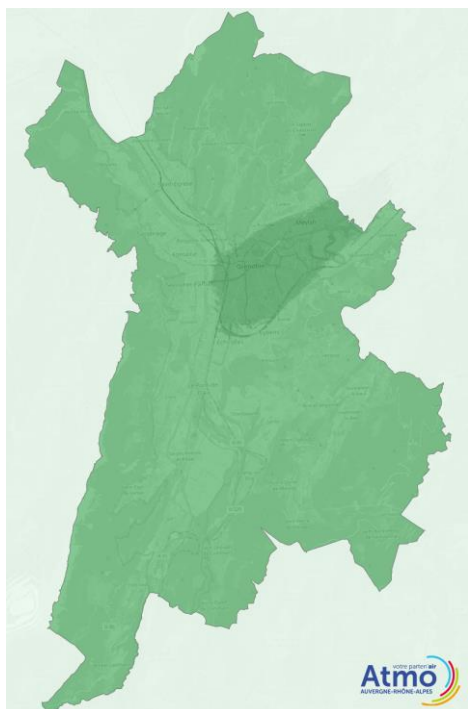


Moyenne annuelle en  $\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$



# Ecart PM10

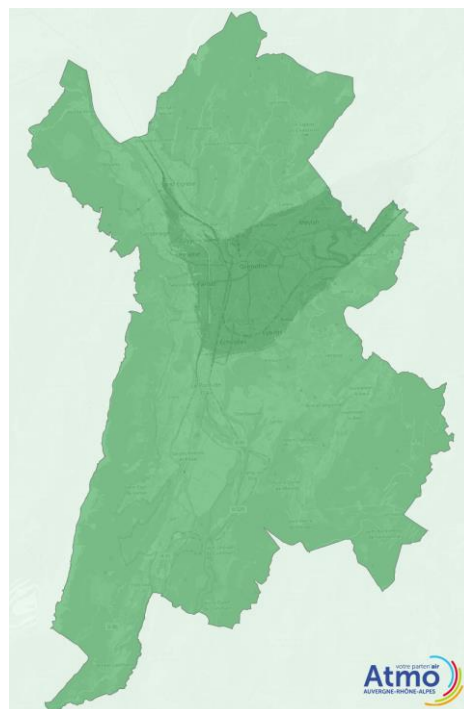
GAINS ENTRE 2022 ET 2030 MAINTIEN DYNAMIQUE



GAINS ENTRE 2030 MAINTIEN DYNAMIQUE ET 2030 PCAEM



GAINS ENTRE 2022 ET 2030 PCAEM



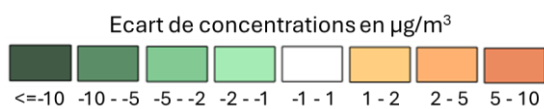
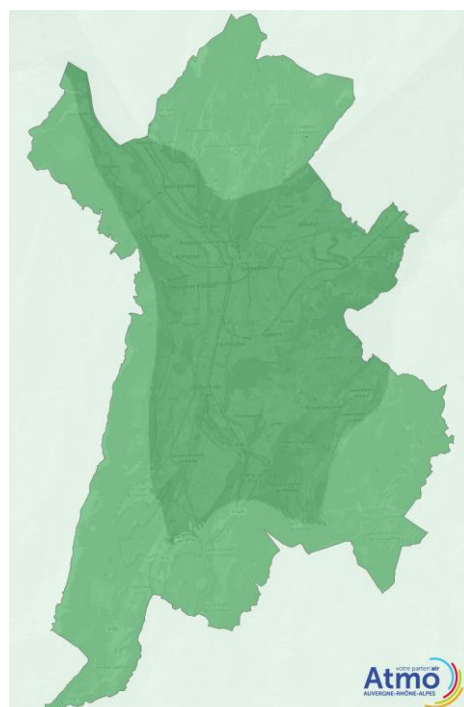
GAINS ENTRE 2022 ET 2035 MAINTIEN DYNAMIQUE



GAINS ENTRE 2035 MAINTIEN DYNAMIQUE ET 2035 PCAEM



GAINS ENTRE 2022 ET 2035 PCAEM



**En 2030 :**

- Importante baisse tendancielle des concentrations de PM10 par rapport à 2022
  - Baisse globale d'environ 25% des concentrations entre 2022 et 2030 :
    - Supérieure à 2  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  en situation de fond
    - Autour de 5  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  à Grenoble
- Impact négligeable du scénario PCAEM sur les concentrations PM10 par rapport à la situation tendancielle
  - Gains inférieurs à 1  $\mu\text{g}/\text{m}^3$

**En 2035 :**

- Importante baisse tendancielle des concentrations de PM10 par rapport à 2022
  - Baisse globale d'environ 30% des concentrations entre 2022 et 2035 :
    - Supérieure à 3  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  en situation de fond
    - Pouvant atteindre 7  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  à Grenoble
- Impact limité du scénario PCAEM sur les concentrations PM10 par rapport à la situation tendancielle
  - Gains supérieurs à 1  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  uniquement sur l'A480 et la rocade Sud