



# CLIMAT – GAZ À EFFET DE SERRE QUALITÉ DE L’AIR



Membres : BABOU Dior, BALDE Fatoumata Lamarana,  
BIGUENDAKUMANA Kenthia, MUHIMPUNDU Anchya Miella

L3 MIASHS  
2022-2023

Table des matières

***I-INTRODUCTION..... 2***

***II-Partie 1 : DIAGNOSTIC DU TERRITOIRE ..... 3***

    1-Présentation des caractéristiques du territoire ..... 3

    2-Délimitation vis à vis des gaz à effet de serre et de la qualité de l'air ..... 4

    3-Analyse des acteurs et des actions sur le territoire ..... 15

    4- Réalisation d'une matrice SWOT (forces, faiblesses, contraintes, opportunités) du territoire ..... 19

    14-Comparaison avec la métropole de Grenoble ..... 21

***III-Partie 2 : STRUCTURE DU MODÈLE .....25***

    1-Situation observée ..... 25

    2- Les secteurs émetteurs et les différents scénarios ..... 32

## I-INTRODUCTION

Tout au long de l'année scolaire, nous avons eu à travailler sur une thématique climat-GES (gaz-à-effet de serre) et en ce qui concerne la méthode de travail nous avons pas mal utilisé des sites pour la collecte de nos données comme celui de ADEME, DU PCEAT.

Les émissions sont responsables de l'augmentation de la température et des changements climatiques qui en découlent. La métropole de Clermont n'est pas exemptée de ce problème. En effet, nos émissions de gaz à effet de serre sont importantes et ont un impact significatif sur notre environnement et notre qualité de vie. Sur la métropole le CO2 équivalent représente les polluants suivants : particules fines, le PM10 qui représentaient exactement 32% des émissions en 2015 le dioxyde de Carbone 68,5 % et l'oxyde d'azote 72%.

Ces émissions ne sont pas sans conséquences, elles impactent le climat par exemple la météo, la pluviométrie mais également la qualité de l'air.

Selon des données obtenues du documents Bilan territorial des consommations énergétiques Et des émissions de gaz à effet de serre de Clermont Communauté et le bilan de gaz à effet de serre de la métropole en 2021, les secteurs les plus émetteurs sont le résidentiel, le transport, l'agriculture les déchets et industries. Chaque année, la pollution de l'air provoque la mort prématurée de sept millions de personnes selon l'Organisation Mondiale de la Santé (OMS).

Nous inspirons chaque jour entre 15 000 et 30 000 litres d'air. Sa qualité constitue un enjeu majeur de santé publique. Et avec toutes ces émissions, la qualité de l'air est impactée, nous avons des maladies cardio-vasculaires et respiratoires, asthmes qui provoquent des allergies etc. 8 stations de mesures sont réparties sur le territoire de la métropole mesurant chacune plusieurs polluants. L'Observatoire ATMO-Auvergne-Rhône-Alpes (agrée par le ministère de l'Environnement, de l'Energie et de la Mer) est à la charge de cette surveillance et de l'information sur la qualité de l'air.

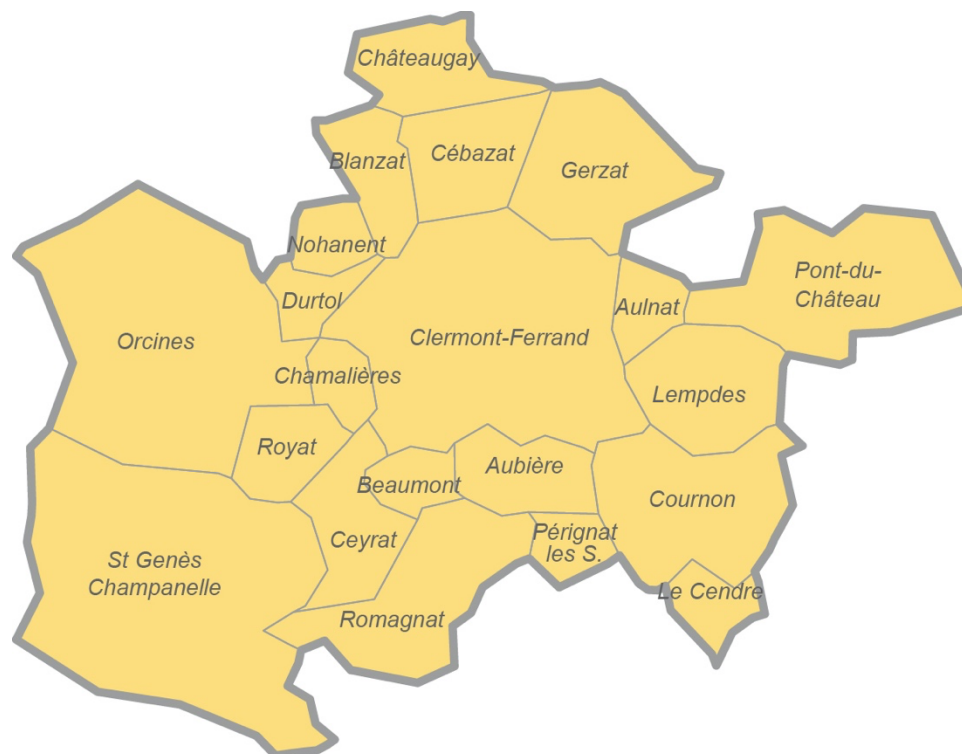
Chaque jour, la qualité de l'air est traduite par un chiffre représentant le niveau moyen de pollution à laquelle la population est exposée, allant de 1 (très bonne qualité) à 10 (très mauvaise qualité)

L'une des méthodes de prévision de séries temporelles les plus répandues est la méthode ARIMA. ARIMA signifie : AutoRegressive Integrated Moving Average. Il s'agit d'un modèle qui prédit les valeurs futures d'une série temporelle sur certains aspects de la structure statistique de la série observée.

Tout d'abord nous commencerons par un diagnostic c'est-à-dire un état des lieux des GES sur la métropole, en soulignant les données clés de la base de données, Ensuite, expliquer à travers un diagramme de boucle de causalité ainsi qu'un diagramme de stocks et flux la situation observée sur la métropole et enfin exposer la problématique choisie, les leviers d'actions ainsi que la simulation de ces scénarios pour les années 2030 et 2050.

## II-Partie 1 : DIAGNOSTIC DU TERRITOIRE

### 1-Présentation des caractéristiques du territoire



La métropole clermontoise, qui englobe 21 communes, est reconnue comme une capitale économique, universitaire, culturelle et sportive.

Clermont Métropole est située dans la région Auvergne-Rhône-Alpes, en France. Le territoire se caractérise par une combinaison harmonieuse de zones urbaines et de vastes espaces naturels, notamment le parc naturel régional des Volcans d'Auvergne. La région est réputée pour son patrimoine naturel et culturel, attirant ainsi de nombreux touristes chaque année. La présence de grandes institutions universitaires et de centres de recherche renforce son dynamisme économique.

Le territoire de Clermont Métropole compte environ 290 000 habitants répartis sur une superficie de 300,62 km<sup>2</sup>. Il abrite également une population estudiantine importante, avec environ 35 000 étudiants inscrits dans les différentes institutions académiques de la région. De plus, le territoire bénéficie d'une présence significative de chercheurs, à la fois du secteur public et privé, avec près de 3 000 chercheurs contribuant à l'avancement de la recherche et de l'innovation.

Sur le plan économique, Clermont Métropole compte environ 156 000 emplois et abrite près de 14 000 entreprises. L'une des entreprises emblématiques présentes sur le territoire est Michelin, leader mondial du pneumatique, qui constitue le premier employeur de la région Rhône-Alpes. Cette dynamique économique est renforcée par la diversité des secteurs d'activité présents sur le territoire.

Clermont Métropole est également réputée pour ses attraits culturels et artistiques. Le territoire accueille le plus grand Festival international du Court métrage, mettant en avant la créativité cinématographique. Il dispose également de lieux de spectacles et d'événements culturels majeurs tels que le Zénith, la Grande Halle d'Auvergne, une Scène nationale et l'Orchestre d'Auvergne. De plus, il possède des infrastructures dédiées à la musique, comme une salle de concert conventionnée pour les Musiques Actuelles (SMAC).

En termes d'infrastructures sportives et de loisirs, la métropole compte plus de 1600 agents travaillant au sein des services publics locaux. En 2017, elle a investi plus de 153 millions d'euros dans divers projets. Les équipements nautiques, le stadium Jean-Pellez (stade couvert d'athlétisme) et l'Artenium (centre des arts martiaux et du tennis de table) contribuent à la promotion des activités sportives et culturelles dans la région. De plus, Clermont Métropole dispose de 16 bibliothèques et médiathèques, ainsi que de 5 musées, qui participent à l'enrichissement de l'offre culturelle et éducative du territoire.

En somme, Clermont Métropole dispose d'un environnement dynamique grâce à sa population multiculturelle, son économie florissante, sa scène culturelle riche et ses infrastructures sportives et de loisirs de qualité. Tous ces éléments permettent de faire de Clermont Métropole un territoire attractif et stimulant, offrant un grand nombre de possibilités de développement pour ses résidents et ses visiteurs.

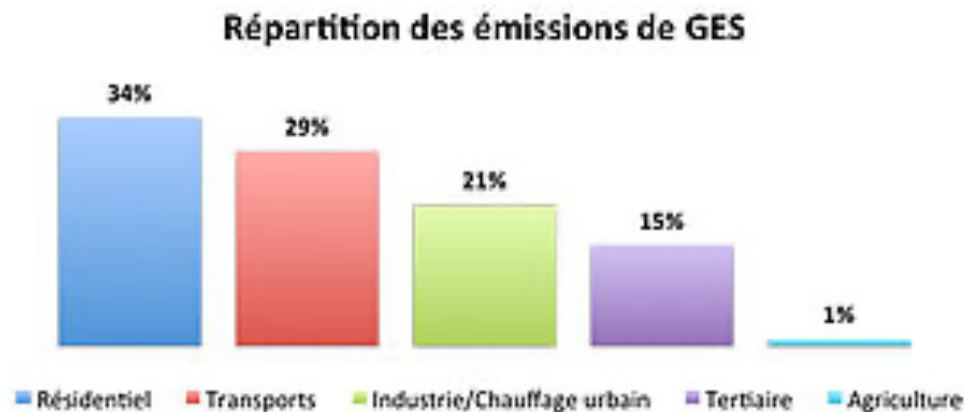
### 2-Délimitation vis à vis des gaz à effet de serre et de la qualité de l'air

Dans le cadre du diagnostic, notre attention se porte sur la problématique de la qualité de l'air dans la Métropole de Clermont. La pollution atmosphérique est une préoccupation majeure, dont les effets se répercutent sur la santé publique et l'environnement. Il conviendra d'inspecter l'ensemble des sources de pollution, notamment les émissions résultantes du trafic routier, des industries, des activités agricoles ainsi que des systèmes de chauffage domestique.

La délimitation vis-à-vis des gaz à effet de serre (GES) et de la qualité de l'air sur la métropole de Clermont est d'une importance cruciale pour comprendre les défis environnementaux auxquels la région est confrontée. Voici quelques détails et données pertinents à cet égard :

## 1. Émissions de gaz à effet de serre :

Clermont Métropole contribue aux émissions de gaz à effet de serre, principalement issues des secteurs du transport, de l'industrie et du chauffage résidentiel. Les véhicules motorisés, y compris les voitures et les poids lourds, sont une source majeure d'émissions, en particulier les émissions de dioxyde de carbone (CO<sub>2</sub>). L'industrie, notamment les installations de production et les usines, peut également émettre des gaz à effet de serre tels que le méthane (CH<sub>4</sub>) et le protoxyde d'azote (N<sub>2</sub>O). De plus, les systèmes de chauffage utilisant des combustibles fossiles, tels que le fioul et le gaz naturel, contribuent également aux émissions de CO<sub>2</sub>.



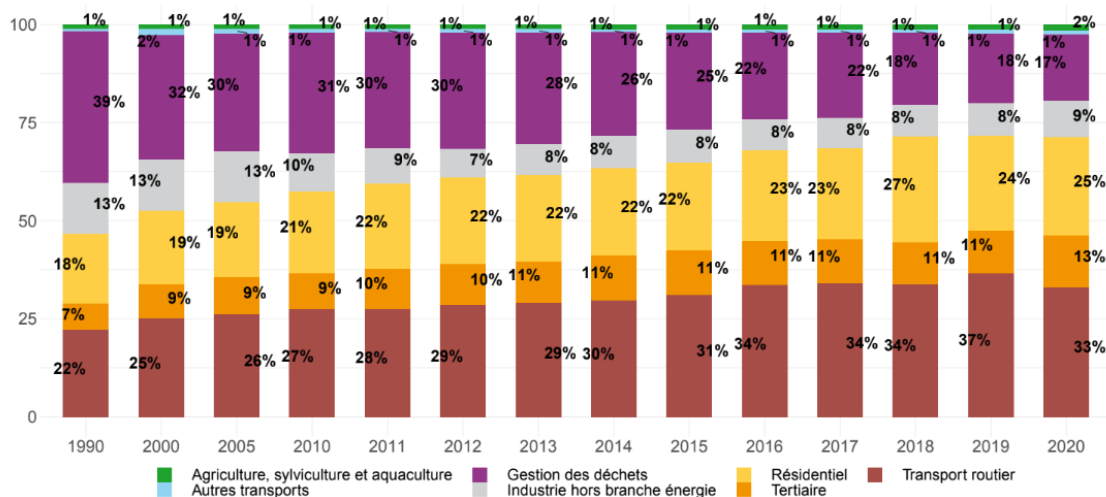
Le bilan global des émissions de gaz à effet de serre sur la métropole de Clermont-Ferrand s'élève à 1369 kilotonnes équivalent CO<sub>2</sub>. Ce chiffre représente la somme des émissions de dioxyde de carbone (CO<sub>2</sub>) ainsi que d'autres gaz à effet de serre tels que le méthane (CH<sub>4</sub>) et le protoxyde d'azote (N<sub>2</sub>O), exprimées en équivalent CO<sub>2</sub>.

Effectivement, il convient de noter que bien que le secteur industriel joue un rôle significatif dans les émissions de gaz à effet de serre (GES) avec une part substantielle, dépassant un tiers, des émissions totales de gaz à effet de serre (GES) générées sur le territoire, il ne représente pas le principal contributeur. C'est le secteur résidentiel qui se positionne en tête, tant en termes de consommations énergétiques (38%) qu'en matière d'émissions de GES (34%). Cette prédominance s'explique principalement par les besoins de chauffage des logements, qui représentent une part importante de la consommation d'énergie et des émissions de GES.

Les données relatives aux consommations d'énergie et aux émissions de gaz à effet de serre (GES) dans la métropole de Clermont-Ferrand montrent que le secteur industriel, le secteur tertiaire et le secteur des transports ont des consommations relativement équivalentes, chacun représentant environ 20% de la consommation

énergétique totale. Toutefois, en ce qui concerne les émissions de GES, le secteur des transports routiers, en particulier les véhicules particuliers, domine nettement les secteurs industriel et tertiaire, avec 29% des émissions totales. D'un autre côté, le secteur agricole présente des consommations énergétiques et des émissions de GES négligeables, en lien avec la faible activité de ce secteur sur le territoire communautaire.

Évolution de la part de chaque secteur dans les émissions totales de GES



Les dynamiques d'évolution des émissions de gaz à effet de serre (GES) sur la métropole de Clermont-Ferrand sont significatives et témoignent des efforts déployés pour réduire l'impact environnemental. Au cours de l'année précédente, les émissions ont diminué de 14%. Sur une période de cinq ans, la réduction atteint 18%, tandis que depuis 2005, les émissions ont été réduites de 38%. Si l'on remonte encore plus loin dans le temps, depuis 1990, les émissions ont diminué de 42%. Ces chiffres illustrent les progrès réalisés dans la réduction des émissions de GES, ce qui est encourageant pour la transition vers une économie plus durable et respectueuse du climat.

## 2. Qualité de l'air :

La qualité de l'air sur la métropole de Clermont est affectée par divers polluants atmosphériques, tels que les particules fines (PM10 et PM2,5), le dioxyde d'azote (NO2), le dioxyde de soufre (SO2), l'ozone (O3) et le monoxyde de carbone (CO). Ces polluants peuvent provenir de sources variées, telles que les émissions des véhicules, les activités industrielles, les systèmes de chauffage résidentiels et les processus chimiques.

Les concentrations de polluants atmosphériques sont influencées en partie par les conditions climatiques. Par conséquent, l'évolution du climat aura un impact direct sur la qualité de l'air.

L'ozone, un polluant estival, est formé par une réaction chimique déclenchée par le rayonnement solaire UV. Ainsi, une augmentation de l'ensoleillement et de la chaleur pourrait entraîner une augmentation moyenne du niveau d'ozone et avoir des répercussions sur l'apparition des épisodes de pollution à l'ozone.

Dans les zones proches des routes et dans les vallées alpines, les pics de pollution concernent principalement les particules fines et le dioxyde d'azote.

De plus, avec des étés plus secs, les incendies de forêt pourraient être plus fréquents, ce qui entraînerait des émissions supplémentaires d'Hydrocarbures aromatiques polycycliques (HAP), de particules, de monoxyde de carbone (CO) et de composés organiques volatils non méthaniques (COVNM).

En hiver, si les périodes anticycloniques augmentent, associées à des inversions de température (qui favorisent la stagnation des polluants dans les basses couches de l'atmosphère), les épisodes de pollution aux particules (liés au chauffage individuel au bois peu performant) pourraient s'intensifier. En revanche, des températures plus douces pourraient réduire l'utilisation des installations de chauffage et ainsi diminuer les épisodes de pollution.

L'expansion des zones désertiques dans le sud de la région pourrait entraîner des épisodes de pollution aux particules telluriques.

Les changements climatiques peuvent également entraîner l'émergence de nouvelles maladies ou de ravageurs d'insectes, nécessitant l'utilisation de pesticides, ce qui constitue un risque de pollution supplémentaire.

Enfin, les concentrations de pollens sont reconnues comme l'un des indicateurs du changement climatique. Leur concentration augmente en corrélation avec l'augmentation des températures moyennes.



Secteurs	Emissions oxydes d'azote	Emissions particules fines (PM10)	Emissions de CO2 (2015)
Résidentiel	8%	32%	21%
Tertiaire	5%	1%	10%
Transports routiers	72%	36%	4%
Autres transports	2%	3%	-%
Industrie-déchêts	10%	25%	68,50%
Agriculture	2%	3%	-%
Autres sources	1%	0%	-%
<b>Valeur limite annuelle en 2020</b>	40µg/m <sup>3</sup>	40µg/m <sup>3</sup>	
<b>Valeur moyenne en 2020</b>		13µg/m <sup>3</sup>	

Les émissions provenant du secteur résidentiel représentent 8% des émissions d'oxydes d'azote, 32% des émissions de particules fines et 21% des émissions de CO<sub>2</sub>. Ces chiffres soulignent l'importance des activités résidentielles dans la contribution globale à la pollution de l'air. Il est essentiel de mettre en place des mesures visant à réduire les émissions provenant des systèmes de chauffage, de la combustion des combustibles fossiles et d'autres sources liées aux ménages.

Le secteur tertiaire contribue à hauteur de 5% des émissions d'oxydes d'azote, 1% des émissions de particules fines et 10% des émissions de CO<sub>2</sub>. Bien que ces chiffres soient relativement faibles en comparaison avec d'autres secteurs, il est important de promouvoir des pratiques durables et une efficacité énergétique accrue dans les bâtiments et les infrastructures tertiaires afin de réduire davantage ces émissions.

Les transports routiers sont le principal contributeur aux émissions d'oxydes d'azote avec 72% du total, ainsi qu'aux émissions de particules fines avec 36%. Cependant, ils contribuent relativement moins aux émissions de CO<sub>2</sub>, représentant seulement 4% du total. Des politiques de transport durable, la promotion des transports en commun et l'encouragement à l'utilisation de véhicules à faibles émissions sont essentiels pour réduire l'impact environnemental du secteur des transports routiers.

Le secteur des autres transports, bien qu'il représente une part relativement faible des émissions d'oxydes d'azote (2%) et de particules fines (3%), doit également être pris en compte dans les initiatives de réduction des émissions. Des alternatives de transport plus propres et des mesures visant à encourager l'utilisation de modes de

déplacements durables peuvent contribuer à une amélioration globale de la qualité de l'air.

L'industrie et la gestion des déchets sont responsables de 10% des émissions d'oxydes d'azote, 25% des émissions de particules fines et 68,50% des émissions de CO<sub>2</sub>. Ces secteurs jouent un rôle majeur dans les émissions de gaz à effet de serre, et des efforts supplémentaires doivent être déployés pour promouvoir l'efficacité énergétique, la réduction des déchets et l'adoption de technologies propres.

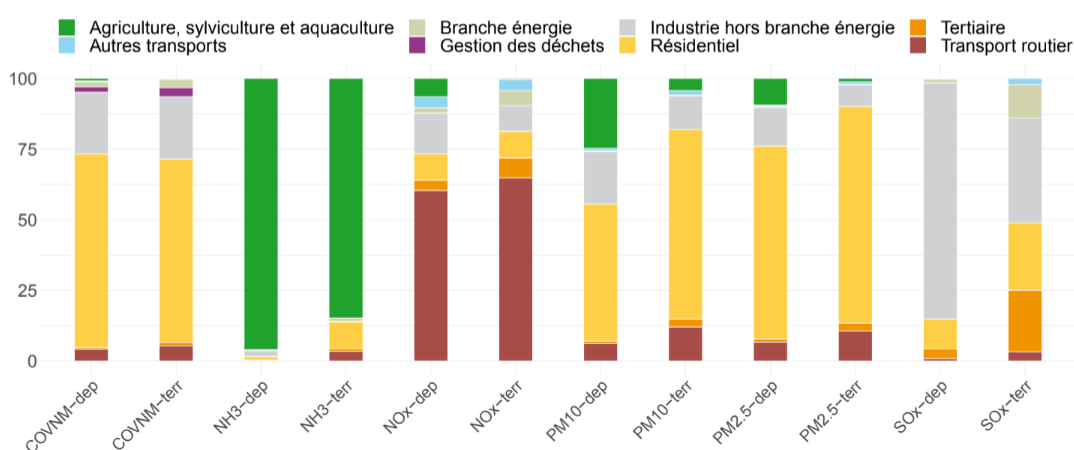
L'agriculture contribue modestement aux émissions d'oxydes d'azote (2%) et de particules fines (3%). Bien que ces chiffres soient relativement faibles, il est important de promouvoir des pratiques agricoles durables et respectueuses de l'environnement pour minimiser l'impact sur la qualité de l'air.

En ce qui concerne les valeurs limites annuelles en 2020, elles sont fixées à 40 Mg/m<sup>3</sup> pour les émissions d'oxydes d'azote et de particules fines. La valeur moyenne des émissions de particules fines en 2020 est de 13 Mg/m<sup>3</sup>. Ces valeurs limites et moyennes servent de référence pour évaluer la conformité des émissions et orienter les mesures de réduction appropriées

Voici une analyse détaillée des émissions de polluants sur le territoire et dans le département en 2020 :

## BILAN DES ÉMISSIONS DE POLLUANTS ATMOSPHÉRIQUES<sup>1</sup>

Contributions des secteurs d'activité dans les émissions des polluants (en tonnes) sur le territoire (à droite) et sur le département (à gauche) en 2020



### 1. Composés Organiques Volatils Non Méthaniques (COVNM) :

- Département : Les émissions de COVNM s'élèvent à 7 092 tonnes. Les COVNM sont des polluants atmosphériques provenant de diverses sources, telles que les activités industrielles, les émissions des véhicules, les solvants et les produits chimiques. Les niveaux élevés d'émissions de COVNM dans le département peuvent être attribués à l'activité industrielle et aux transports.

- Territoire : Sur le territoire, les émissions de COVNM sont de 2 217 tonnes. Bien que ce chiffre soit inférieur à celui du département, il indique toujours la présence de sources locales d'émissions de COVNM, qui peuvent avoir un impact sur la qualité de l'air et la santé publique.

## 2. Ammoniac (NH<sub>3</sub>) :

- Département : Les émissions d'ammoniac atteignent 12 431 tonnes. L'ammoniac est principalement émis par l'agriculture, en particulier par les activités d'élevage intensif. Les pratiques agricoles et la gestion des déchets peuvent contribuer aux niveaux élevés d'émissions d'ammoniac dans le département.

- Territoire : Sur le territoire, les émissions d'ammoniac sont de 348 tonnes, ce qui est significativement inférieur à celles du département. Cela peut s'expliquer par une concentration moindre d'activités agricoles et d'élevage intensif sur le territoire.

## 3. Oxydes d'azote (NO<sub>x</sub>) :

- Département : Les émissions de NO<sub>x</sub> sont de 5 959 tonnes. Les NO<sub>x</sub> sont principalement émis par les véhicules, les installations industrielles et les processus de combustion. Les niveaux élevés d'émissions de NO<sub>x</sub> dans le département peuvent être liés à la densité de la circulation routière et à l'activité industrielle.

- Territoire : Sur le territoire, les émissions de NO<sub>x</sub> sont de 1 830 tonnes. Bien que ces chiffres soient inférieurs à ceux du département, ils indiquent toujours une présence significative de sources d'émissions de NO<sub>x</sub>, telles que la circulation routière et les activités industrielles.

## 4. Particules fines PM<sub>10</sub> :

- Département : Les émissions de particules fines PM<sub>10</sub> sont de 3 143 tonnes. Les PM<sub>10</sub> sont de petites particules en suspension dans l'air, provenant principalement des émissions des véhicules, des activités industrielles et de la combustion de combustibles. Les niveaux élevés d'émissions de PM<sub>10</sub> dans le département peuvent être attribués à la circulation routière et aux sources industrielles.

- Territoire : Sur le territoire, les émissions de PM<sub>10</sub> sont de 548 tonnes. Bien que ce chiffre soit inférieur à celui du département, il indique toujours une présence de sources locales d'émissions de PM<sub>10</sub>, qui peuvent affecter la qualité de l'air et la santé des habitants.

## 5. Particules fines PM<sub>2.5</sub> :

- Département : Les émissions de particules fines PM<sub>2.5</sub> s'élèvent à 2 188 tonnes. Les PM<sub>2.5</sub> sont des particules encore plus petites que les PM<sub>10</sub>, qui peuvent

pénétrer profondément dans les voies respiratoires et avoir des effets nocifs sur la santé. Les principales sources d'émissions de PM2.5 dans le département comprennent les transports, l'industrie et les processus de combustion.

- Territoire : Sur le territoire, les émissions de PM2.5 sont de 469 tonnes. Bien que ce chiffre soit inférieur à celui du département, il indique toujours une présence de sources locales d'émissions de PM2.5, ce qui nécessite une attention continue pour minimiser les impacts sur la qualité de l'air et la santé publique.

#### 6. Dioxyde de soufre (SO<sub>2</sub>) :

- Département : Les émissions de dioxyde de soufre sont de 1 113 tonnes. Le SO<sub>2</sub> est principalement émis par les processus de combustion des combustibles fossiles, tels que la production d'électricité et les activités industrielles. Les niveaux élevés d'émissions de SO<sub>2</sub> dans le département peuvent être liés à la présence d'installations industrielles et de centrales électriques.

- Territoire : Sur le territoire, les émissions de SO<sub>2</sub> sont de 92 tonnes, ce qui est significativement inférieur à celles du département. Cependant, il est important de surveiller et de réduire les émissions de SO<sub>2</sub> pour maintenir la qualité de l'air et minimiser les impacts sur la santé.

Ces données sur les émissions de polluants en 2020 illustrent les niveaux d'émissions et les principales sources de pollution atmosphérique dans le département et sur le territoire. Il est essentiel de poursuivre les efforts visant à réduire ces émissions et à améliorer la qualité de l'air, en mettant en place des politiques et des actions appropriées pour réduire les impacts sur la santé humaine et l'environnement.

### 3. Impacts environnementaux et sanitaires :

Les émissions de gaz à effet de serre ont un impact significatif sur le changement climatique, entraînant des conséquences telles que l'élévation des températures, l'intensification des événements météorologiques extrêmes et l'augmentation du niveau de la mer. Ces changements climatiques ont des répercussions considérables sur notre environnement et notre société.

En ce qui concerne la qualité de l'air, il est essentiel de prendre en compte les polluants atmosphériques qui peuvent avoir des effets néfastes sur la santé humaine. Ces polluants comprennent des substances telles que les oxydes d'azote (NO<sub>x</sub>), les particules fines (PM<sub>2.5</sub> et PM<sub>10</sub>), les composés organiques volatils (COV) et le dioxyde de soufre (SO<sub>2</sub>). Ils sont souvent émis par les activités industrielles, les transports, le chauffage résidentiel et d'autres sources anthropiques.

Le bilan hydrique est un indicateur important pour évaluer la disponibilité en eau dans une région donnée. Il est calculé en comparant les précipitations avec une estimation de l'évapotranspiration, qui représente la perte d'eau par évaporation du sol et par transpiration des plantes. Le bilan hydrique permet de suivre les variations des ressources en eau dans le sol d'une année à l'autre, ce qui est crucial pour comprendre les conditions de sécheresse et évaluer l'impact sur les écosystèmes et les activités humaines.

Au cours des dernières décennies, une tendance alarmante s'est dessinée dans la région d'Auvergne-Rhône-Alpes, avec une diminution progressive du bilan hydrique annuel et une aggravation des déficits hydriques au printemps et en été. Cette évolution inquiétante est principalement attribuée à l'augmentation de l'évapotranspiration des végétaux, qui est directement influencée par l'élévation générale des températures.

Ces changements climatiques ont un impact significatif sur le cycle de l'eau dans la région. L'augmentation des températures accélère l'évaporation de l'eau du sol et des réserves, entraînant ainsi une diminution du bilan hydrique global. Cette situation est exacerbée par des précipitations moins fréquentes et plus irrégulières, ce qui limite la recharge des nappes phréatiques et des cours d'eau.

À titre d'exemple, à Clermont-Ferrand, le bilan hydrique annuel a enregistré une diminution remarquable de -113 mm entre la période 1961-1990 et la période 1991-2020. Cette diminution significative témoigne de l'ampleur du problème et souligne l'urgence d'agir pour préserver les ressources en eau dans la région.

Les conséquences de cette diminution du bilan hydrique sont multiples. Les ressources en eau, déjà mises à rude épreuve, deviennent encore plus limitées, ce qui impacte directement les activités agricoles, industrielles et domestiques qui dépendent de l'eau. De plus, les écosystèmes aquatiques sont également gravement touchés, avec des conséquences sur la biodiversité et la santé des écosystèmes fluviaux.

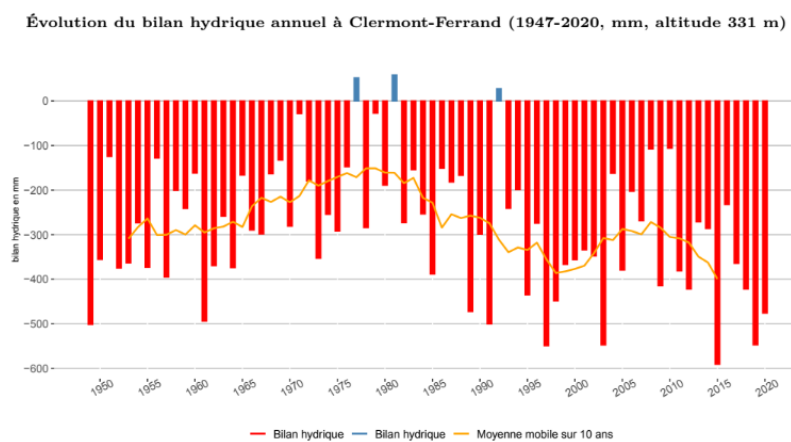
Face à ces défis, il est impératif de mettre en œuvre des mesures d'adaptation pour faire face aux pénuries d'eau et gérer efficacement les ressources disponibles. Cela implique une meilleure gestion de l'eau, l'adoption de pratiques agricoles et industrielles durables, ainsi que des efforts pour sensibiliser et impliquer la population dans la préservation de cette ressource vitale.

Il est également crucial de poursuivre les efforts visant à atténuer le changement climatique en réduisant les émissions de gaz à effet de serre et en favorisant les énergies renouvelables. La lutte contre le réchauffement climatique contribuera à

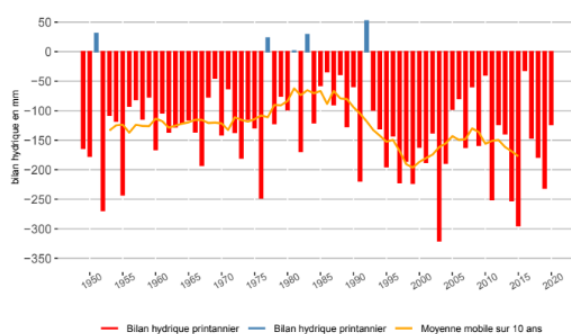
ralentir l'évolution du bilan hydrique et à protéger les écosystèmes aquatiques de la région.

En conclusion, la diminution du bilan hydrique annuel et les déficits hydriques croissants dans la région d'Auvergne-Rhône-Alpes soulignent l'urgence d'agir pour préserver les ressources en eau et faire face aux défis posés par le changement climatique.

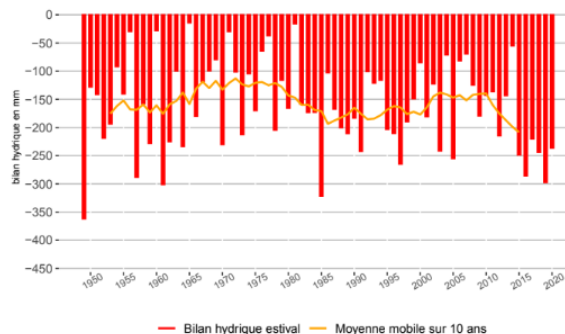
Évolution du bilan hydrique annuel, printannier et estival à Clermont-Ferrand (1947-2020, mm, altitude 331 m)



Évolution du bilan hydrique printannier à Clermont-Ferrand (1947-2020, avril - juin, mm, altitude 331 m)



Évolution du bilan hydrique estival à Clermont-Ferrand (1947-2020, juill - sept, mm, altitude 331 m)



Dans cette analyse, les données climatiques utilisées proviennent de la station météorologique située à Clermont-Ferrand, appartenant au réseau de Météo France. Ces données quotidiennes sont essentielles pour étudier les paramètres météorologiques tels que la température, le rayonnement solaire, l'humidité et le vent, qui influencent directement le bilan hydrique et les conditions climatiques locales.



La gestion des canicules et des vagues de chaleur est donc devenue une priorité de santé publique pour faire face aux effets du changement climatique et garantir la sécurité et le bien-être de la population.

Dans le département du Puy-de-Dôme, on observe une variabilité des taux de mortalité entre 1974 et 2000. Cependant, à partir de 2004, une baisse de la mortalité est constatée, notamment dans la période qui suit la canicule de 2003. Les causes précises de cette diminution ne sont pas entièrement élucidées par les études disponibles. Il est possible qu'il s'agisse d'un effet retardé de la canicule de 2003, où certains décès qui auraient normalement eu lieu les années suivantes ont été avancés et ne se sont donc pas reproduits ultérieurement.

Il est également probable que la mise en place de dispositifs de surveillance sanitaire et de mesures de gestion des canicules ait contribué à la diminution du taux de mortalité après 2003, malgré la fréquence croissante des vagues de chaleur.

Cependant, il convient de souligner que la canicule de 2003, tant au niveau départemental qu'au niveau national, demeure une vague de chaleur exceptionnelle, avec une surmortalité sans précédent, deux à trois fois plus élevée que toutes les autres canicules observées sur la période étudiée. Les canicules les plus intenses, telles que celles de 1983, 2003, 2015 et 2018, sont également associées à une surmortalité plus importante. Il est important de noter que la canicule de 2003 ne représente pas une rupture dans la relation entre température et mortalité, mais se distingue par son intensité et sa sévérité exceptionnelles, qui n'ont pas été égalées au cours de la période analysée.

Ces tendances s'appliquent également aux décès en excès survenant pendant les périodes de canicules.

À court terme, une exposition à des concentrations élevées de polluants atmosphériques a des effets néfastes principalement sur la santé cardiovasculaire et respiratoire, aggravant les maladies préexistantes et provoquant des crises d'asthme.

La présence de particules fines et de dioxyde d'azote à proximité des axes routiers, ainsi que la présence d'ozone dans le sud du territoire, contribuent à l'aggravation des problèmes cardiovasculaires et respiratoires déjà présents chez les individus. Ces conséquences ont un impact significatif sur la santé publique et représentent un enjeu majeur à prendre en considération.

### [3-Analyse des acteurs et des actions sur le territoire](#)



L'analyse des acteurs et des actions sur la métropole de Clermont-Ferrand en matière de qualité de l'air révèle l'implication de plusieurs parties prenantes et l'existence de mesures visant à améliorer la situation. Voici quelques éléments à considérer :

- Les autorités locales : La Métropole de Clermont-Ferrand joue un rôle central dans la gestion des problématiques environnementales, notamment en ce qui concerne la réduction des émissions de GES et de la pollution atmosphérique. Elle est responsable de la mise en place de politiques, de réglementations et de plans d'action visant à promouvoir des pratiques durables et à améliorer la qualité de l'air dans la région.

- Les entreprises : Les entreprises présentes dans la métropole, telles que Michelin et d'autres industries, ont un rôle important à jouer dans la réduction des émissions de GES. Elles peuvent mettre en œuvre des mesures d'efficacité énergétique, adopter des technologies propres, réduire leurs émissions de CO<sub>2</sub> et promouvoir des pratiques industrielles durables.

- Les citoyens : Les habitants de la métropole ont également un rôle à jouer dans la réduction des émissions de GES et de la pollution atmosphérique. Ils peuvent contribuer en adoptant des comportements éco-responsables, en utilisant les transports en commun, en favorisant les modes de déplacement doux, en réduisant leur consommation d'énergie et en soutenant les initiatives locales visant à améliorer la qualité de l'air.

- Les institutions académiques et les chercheurs : Les grandes institutions universitaires et les centres de recherche présents dans la métropole jouent un rôle clé dans la recherche et l'innovation en matière de développement durable et de lutte contre la pollution atmosphérique. Leurs travaux contribuent à la compréhension des problématiques environnementales et à la mise en place de solutions efficaces.

- Les associations et organisations environnementales : Des associations et organisations locales se mobilisent pour sensibiliser la population, promouvoir des pratiques durables et demander des mesures concrètes pour améliorer la qualité de l'air. Elles peuvent mener des actions de plaidoyer, d'éducation et de sensibilisation, ainsi que des projets concrets de réduction des émissions de GES.

- Promotion des transports durables : La métropole met en place des politiques visant à encourager l'utilisation des transports en commun, le covoiturage, le vélo et la marche. Elle investit dans l'extension des réseaux de transports en commun, la création de pistes cyclables et la mise en place de plans de mobilité pour les entreprises.

- Amélioration de l'efficacité énergétique : Des actions sont entreprises pour promouvoir l'efficacité énergétique dans les bâtiments résidentiels, commerciaux et industriels. Cela inclut l'incitation à l'isolation thermique, l'utilisation de sources d'énergie renouvelables, l'adoption de systèmes de chauffage plus efficaces et la sensibilisation à la réduction de la consommation d'énergie.
- Développement des énergies renouvelables : La métropole encourage le développement des énergies renouvelables, telles que l'énergie solaire, éolienne et hydraulique. Des projets d'installations solaires et éoliennes sont mis en place, et des incitations sont offertes aux particuliers et aux entreprises pour investir dans ces sources d'énergie propres.
- Sensibilisation et éducation : Des campagnes de sensibilisation sont menées pour informer les habitants sur les impacts de la pollution atmosphérique et les encourager à adopter des comportements respectueux de l'environnement. Des actions éducatives sont également entreprises dans les écoles et les institutions académiques pour sensibiliser les jeunes générations aux enjeux environnementaux.
- Surveillance et contrôle de la qualité de l'air : La métropole met en place des systèmes de surveillance de la qualité de l'air pour identifier les sources de pollution et prendre des mesures préventives. Des normes et des réglementations sont également appliquées pour limiter les émissions polluantes des industries et des véhicules.

Ces acteurs et actions combinés contribuent à la réduction des émissions de GES et à l'amélioration de la qualité de l'air dans la métropole clermontoise, favorisant ainsi un environnement plus durable et sain pour les habitants.

#### **IV. Utilisation possible du click chart**



Sur le secteur du transport les communes dominantes restent Clermont Ferrand avec ses lignes de trams et bus et celle d'Aulnat où se trouve l'aéroport de Clermont Ferrand.

4- Réalisation d'une matrice SWOT (forces, faiblesses, contraintes, opportunités) du territoire

<p>Forces :</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Engagement des autorités locales : La métropole de Clermont-Ferrand montre un engagement fort envers la qualité de l'air, en mettant en place des politiques, des plans d'action et des mesures concrètes pour réduire les émissions de polluants atmosphériques comme le Plan Climat Air Energie Territorial et le Plan de Protection de l'atmosphère.</li> <li>- Potentiel d'énergies renouvelables : La région dispose d'un fort potentiel en matière d'énergies renouvelables, notamment l'énergie solaire et éolienne, ce qui offre des opportunités pour réduire la dépendance aux énergies fossiles et améliorer la qualité de l'air.</li> <li>- Présence d'associations environnementales actives : La métropole bénéficie d'un tissu associatif dynamique, engagé dans la sensibilisation et la promotion de bonnes pratiques environnementales, ce qui contribue à renforcer les actions pour améliorer la qualité de l'air.</li> <li>-La présence d'acteurs locaux impliqués dans la lutte contre la pollution de l'air (associations, entreprises, universités, etc.).</li> <li>-La ville dispose d'un réseau de transports en commun bien développé qui encourage l'utilisation des transports publics et la réduction des émissions de polluants.</li> </ul>	<p>Faiblesses :</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Trafic routier important : La métropole de Clermont-Ferrand connaît un trafic routier dense, ce qui entraîne des émissions importantes de polluants atmosphériques, notamment les particules fines et les oxydes d'azote.</li> <li>- Dépendance aux énergies fossiles : Malgré le potentiel des énergies renouvelables, une partie de la métropole reste dépendante des énergies fossiles, ce qui contribue à la pollution de l'air.</li> <li>- Sensibilisation insuffisante : Malgré les efforts déployés, la sensibilisation de la population à l'importance de la qualité de l'air et aux gestes individuels pour la préserver peut-être renforcée.</li> <li>- Prédominance du chauffage au bois, notamment dans les zones rurales, pouvant contribuer aux émissions de particules fines.</li> </ul>
<p>Opportunités :</p>	<p>Menaces :</p>

- Développement des transports durables : La métropole peut saisir l'opportunité de développer davantage les modes de transport durables, tels que les transports en commun, le vélo et la marche, pour réduire les émissions de polluants atmosphériques liées au transport routier.

- Développement de programmes incitatifs pour encourager l'adoption de modes de transport plus propres, tels que des subventions pour l'achat de véhicules électriques, l'installation de bornes de recharge et des tarifs réduits pour les transports en commun.

- Innovation technologique : Les avancées technologiques offrent des opportunités pour développer des solutions innovantes visant à réduire les émissions de polluants atmosphériques, par exemple à travers l'électrification des transports et l'utilisation de véhicules propres.

- Coopération régionale : La coopération avec d'autres régions et territoires peut favoriser les échanges de bonnes pratiques, les projets communs et le développement de synergies pour améliorer la qualité de l'air.

- Changement climatique : Les effets du changement climatique peuvent avoir un impact sur la qualité de l'air, notamment en augmentant les épisodes de pollution atmosphérique liés aux conditions météorologiques extrêmes.

- Urbanisation croissante : L'urbanisation croissante de la métropole peut entraîner une augmentation des émissions de polluants atmosphériques, notamment dus à la croissance du parc automobile et des besoins en énergie.

- Contraintes budgétaires : La transition vers une économie plus verte peut entraîner des coûts importants pour les entreprises. Les contraintes budgétaires peuvent limiter les investissements dans des mesures

- Santé à court terme : L'exposition à des irritants dans l'environnement de travail peut entraîner des problèmes de santé à court terme tels que l'inflammation des bronches, les irritations du nez, des yeux et de la gorge. Ces conditions peuvent provoquer une gêne significative, affectant la productivité des employés et augmentant l'absentéisme.

- Santé à long terme : Une exposition prolongée à des substances toxiques ou cancérigènes sur le lieu de travail peut augmenter le risque de développer des problèmes de santé à long terme tels que les cancers, les maladies respiratoires, neurologiques ou cardiovasculaires. Ces maladies peuvent entraîner des coûts de santé élevée, une diminution de la productivité et une détérioration de la qualité de vie des employés.

La métropole de Clermont dispose de solides atouts pour améliorer la qualité de l'air, tels que son engagement politique, la mobilisation des acteurs locaux et son réseau de transports en commun. Cependant, des efforts supplémentaires doivent

être déployés pour sensibiliser davantage les habitants, développer des incitations et des solutions innovantes, et renforcer la coopération entre tous les acteurs impliqués. En surmontant les contraintes et en saisissant les opportunités, la métropole de Clermont peut poursuivre sa trajectoire vers un air plus pur et un environnement plus sain pour tous ses habitants.

#### 14-Comparaison avec la métropole de Grenoble

Grenoble-Alpes Métropole est une métropole française de droit commun, située dans le département de l'Isère et organisée autour de la ville de Grenoble.

Le 1er janvier 2015, la communauté d'agglomération du même nom a été remplacée par la métropole Grenoble-Alpes Métropole. Bien que les habitants locaux utilisent couramment le surnom "la Métro" pour désigner la communauté d'agglomération, l'acronyme "GAM" est peu utilisé.

Avec ses 49 communes, la métropole grenobloise est la plus peuplée des intercommunalités de la région Auvergne-Rhône-Alpes, à l'exception de la métropole de Lyon qui a un statut particulier en tant que collectivité territoriale. La métropole emploie plus de 2500 personnes (source nécessaire).

Il convient de noter que la métropole ne couvre pas entièrement l'unité urbaine de Grenoble. En effet, il existe des communes dans l'unité urbaine qui ne font pas partie de la métropole, et inversement, des communes de la métropole qui se trouvent au-delà des limites de l'unité urbaine.

La Ville de Grenoble a procédé à l'établissement de son bilan carbone pour l'année 2019. Ce bilan vise à évaluer de manière exhaustive les émissions de gaz à effet de serre directes et indirectes associées à l'ensemble de ses activités, notamment sa gestion patrimoniale et ses compétences en matière de consommation d'énergie, d'achats, d'investissements, de déplacements, de gestion des déchets et de préservation de son patrimoine.

Cette démarche répond à la nécessité de faire face à deux problématiques majeures : le changement climatique et l'épuisement des ressources naturelles de notre planète. En réalisant cette évaluation, la Ville de Grenoble cherche à mieux appréhender et prendre en considération l'empreinte environnementale de ses activités au sein de la collectivité.

Les émissions de gaz à effet de serre pour l'année 2019, associées au patrimoine et aux compétences de la Ville, ont été évaluées à 61 500 tonnes équivalent CO<sub>2</sub> (tCO<sub>2</sub>e). Ces chiffres représentent les éléments suivants :

- Elles contribuent à hauteur de 1,7 % de l'empreinte carbone totale du territoire métropolitain.
- La moyenne d'émissions par agent s'élève à 21 tCO<sub>2</sub>e.
- Par habitant grenoblois, les émissions atteignent 0,4 tCO<sub>2</sub>e.

- Pour chaque millier d'euros dépensé, les émissions se situent à 0,2 tCO<sub>2</sub>e.

Ces données chiffrées fournissent une indication précise de la contribution de la Ville de Grenoble aux émissions de gaz à effet de serre, en mettant en évidence sa part relative au sein du territoire métropolitain. De plus, elles permettent d'évaluer l'impact individuel par agent, par habitant et en termes de dépenses.

Plan de gestion de la pollution atmosphérique et des émissions de polluants

Dans le cadre de la prévention et de la gestion des épisodes de pollution atmosphérique, le préfet de l'Isère a établi un dispositif comprenant plusieurs niveaux d'alerte. Ces mesures visent à réduire les émissions de polluants atmosphériques et à minimiser leurs effets néfastes sur la santé publique, conformément à l'arrêté du 5 juin 2020.

Niveau d'information et recommandations :

Lorsque des niveaux de pollution sont détectés, un premier niveau d'alerte est activé, qui correspond à une phase d'information et de recommandations. Les mesures préconisées sont les suivantes :

1. Protection individuelle et réduction de l'exposition :

- Éviter les activités physiques intenses, en particulier pour les personnes sensibles et vulnérables.
- Éloignement des grands axes routiers aux heures de pointe.
- Demander des conseils en cas de gêne respiratoire ou cardiaque.
- Maintenir une ventilation adéquate des domiciles et des lieux de travail.

2. Actions pour limiter les émissions individuelles :

- Maîtriser la température des logements à 19°C en hiver et éviter l'utilisation de chauffages d'appoint au bois non conformes aux normes environnementales.
- Ne pas brûler les déchets verts, mais privilégier le compostage et le broyage.
- Réduire les déplacements motorisés non essentiels, en favorisant le covoiturage, les transports en commun, le vélo et la marche à pied.

Niveau d'alerte N1 :

En cas d'aggravation de la situation, le préfet peut déclarer le niveau d'alerte N1, entraînant l'application de mesures supplémentaires obligatoires, en plus des mesures du niveau d'information. Les obligations préfectorales au niveau N1 sont les suivantes :

- Limiter la vitesse à 70 km/h sur les axes routiers du bassin d'air grenoblois, incluant les communes de Grenoble Alpes Métropole, du Grésivaudan et du Pays voironnais.

- Réduire la vitesse maximale autorisée à 70 km/h sur les tronçons autoroutiers spécifiques.
- Interdiction d'utiliser le bois et ses dérivés comme chauffage individuel d'appoint ou d'agrément.
- Interdiction totale du brûlage des déchets verts.
- Maîtrise et réduction de la température de chauffage des bâtiments à une moyenne volumique de 18°C.
- Réduction des poussières émises par les chantiers et mise en place de mesures compensatoires efficaces.
- Utilisation restreinte des groupes électrogènes aux seuls besoins essentiels de sécurité.
- Interdiction des feux d'artifice.

Niveau d'alerte N2 :

En cas de persistance ou d'aggravation de l'épisode de pollution, le niveau d'alerte N2 peut être déclenché. Les mesures du niveau N2 sont cumulatives avec celles des niveaux précédents. Les mesures spécifiques du niveau N2 comprennent :

- Suspension des travaux générateurs de poussières sur les chantiers jusqu'à la fin de l'épisode de pollution.
- Mise en place de la circulation différenciée, basée sur les vignettes Crit'Air, avec des restrictions supplémentaires sur les classes de véhicules autorisées à circuler.
- Mesures d'accompagnement telles que la réduction des tarifs des transports en commun et des avantages pour les utilisateurs de vélos en libre-service.

Ce plan de gestion de la pollution atmosphérique et des émissions de polluants définit les mesures préventives et d'urgence à mettre en place en cas d'épisode de pollution. En respectant ces directives, les acteurs concernés contribueront à réduire les émissions polluantes et à protéger la santé de la population. Les mesures prises sont de nature temporaire et sont maintenues jusqu'à la levée de l'épisode de pollution, conformément à l'arrêté préfectoral en vigueur.

Dans le but d'améliorer la qualité de l'air, une préoccupation majeure de santé publique, Grenoble Alpes Métropole déploie progressivement deux Zones à Faibles Émissions (ZFE) : l'une destinée aux véhicules utilitaires et poids lourds, et l'autre aux véhicules particuliers légers. Bien que la qualité de l'air se soit améliorée à Grenoble ces dernières années, la situation demeure problématique, notamment dans le centre-ville et le long des grands axes de circulation, d'où la nécessité d'agir dans ces zones en restreignant la circulation des véhicules les plus polluants.

Zone à Faibles Émissions (ZFE) pour les véhicules utilitaires légers et poids lourds :

La pollution atmosphérique est à l'origine d'un décès prématuré tous les trois jours dans le bassin grenoblois. Environ 4 300 habitants de la métropole sont exposés à des niveaux de dioxyde d'azote (NO<sub>2</sub>) dépassant les seuils fixés par l'Union européenne. Les personnes vivant à proximité des voies routières, souvent des



ménages en situation de précarité, sont particulièrement exposées à ce polluant qui est principalement émis par le trafic routier.

Depuis février 2020, une Zone à Faibles Émissions VUL/PL (ZFE) est en vigueur dans 27 communes de la métropole (à l'exception des voies rapides urbaines) : Bresson, Champ-sur-Drac, Champagnier, Claix, Corenc, Echirolles, Eybens, Fontaine, Gières, Grenoble, Jarrie, Le Pont-de-Claix, La Tronche, Meylan, Montchaboud, Noyarey, Poisat, Quaix-en-Chartreuse, Saint-Egrève, Saint-Martin d'Hères, Saint-Martin-le-Vinoux, Sassenage, Seyssinet-Pariset, Seyssins, Varcès-Allières-et-Risset, Venon et Veurey-Voroize.

La ZFE est en vigueur en permanence (24h/24 et 7j/7) et son application est réglementée par la Métropole en collaboration avec les communes concernées.

Zone à Faibles Émissions pour les véhicules particuliers :

À partir de juillet 2023, Grenoble Alpes Métropole mettra progressivement en place une ZFE pour les voitures particulières, avec une interdiction à partir de juillet 2023 des véhicules Crit'Air 5 (diesel antérieur à 2001, essence antérieure à 1997, soit 2% des véhicules de la métropole grenobloise). Cette réglementation progressive s'appliquera sur un territoire comprenant 13 communes : Échirolles, Eybens, Fontaine, Gières, Grenoble, La Tronche, Le Pont-de-Claix, Meylan, Saint-Egrève, Saint-Martin-d'Hères, Saint-Martin-le-Vinoux, Seyssinet-Pariset et Seyssins.

Les voies rapides urbaines (A48, A480, N87, A41, N481) seront exclues du périmètre de la ZFE.

En somme, la qualité de l'air varie entre les métropoles de Clermont-Ferrand et de Grenoble. Grenoble bénéficie d'un avantage grâce à sa topographie en cuvette, tandis que Clermont-Ferrand est confrontée à des sources de pollution plus importantes en raison de sa localisation géographique. Grenoble-Alpes Métropole a réalisé un bilan carbone pour évaluer ses émissions de gaz à effet de serre et a mis en place des mesures pour réduire la pollution atmosphérique, telles que les Zones à Faibles Émissions. Clermont-Ferrand pourrait tirer des enseignements de l'expérience de Grenoble en adoptant des initiatives similaires pour améliorer la qualité de l'air dans la région.

## III-Partie 2 : STRUCTURE DU MODÈLE

### 1-Situation observée

#### Délimitation du système

Découvrir les relations causales des émissions de gaz à effet de serre (GES), y compris les particules, le CO<sub>2</sub> et les NO<sub>x</sub>, nécessite d'identifier les relations causales entre ces différents facteurs.

Les gaz à effet de serre tels que le CO<sub>2</sub>, les gaz à effet de serre indirects (NO<sub>x</sub>) et d'autres polluants atmosphériques contribuent au réchauffement de la planète et au changement climatique. Ces émissions de gaz proviennent de diverses sources, y compris les activités humaines telles que la combustion de combustibles fossiles, l'incinération des déchets et d'autres procédés industriels.

- **Particules fines** : Les particules sont de petites particules solides ou liquides de moins de 2,5 microns (PM<sub>2,5</sub>) qui sont en suspension dans l'air. Ils peuvent provenir de diverses sources, telles que les gaz d'échappement des véhicules, l'industrie, les centrales électriques et les processus de combustion. Les matières particulaires peuvent causer des maladies respiratoires et cardiovasculaires et contribuer à la pollution de l'air.
- **CO<sub>2</sub>** : Le dioxyde de carbone (CO<sub>2</sub>) est l'un des principaux gaz à effet de serre responsables du réchauffement climatique. Il est principalement émis par la combustion de combustibles fossiles tels que le charbon, le pétrole et le gaz naturel, la déforestation et d'autres activités humaines. Les émissions de CO<sub>2</sub> contribuent à l'effet de serre et au changement climatique.
- **NO<sub>x</sub>** : Les oxydes d'azote (NO<sub>x</sub>) sont un type de gaz composé principalement d'oxydes d'azote (NO) et de dioxyde d'azote (NO<sub>2</sub>). Ils sont produits en brûlant des combustibles fossiles dans des véhicules, des centrales électriques, des installations industrielles, etc. Les émissions de NO<sub>x</sub> contribuent à la pollution de l'air, à la formation de smog et aux problèmes de santé respiratoire.

Maintenant, pour expliquer le cycle causal, nous devons identifier la relation causale entre les éléments suivants :

#### **1. La relation entre les émissions de gaz à effet de serre et les particules :**

- Les émissions de gaz à effet de serre provenant de diverses sources contribuent à l'augmentation de la température et au réchauffement climatique.
- Le réchauffement climatique peut affecter les conditions météorologiques et atmosphériques, par exemple en augmentant la fréquence et l'intensité de la pollution de l'air.
- Une pollution atmosphérique accrue peut entraîner une augmentation des concentrations de poussières fines.

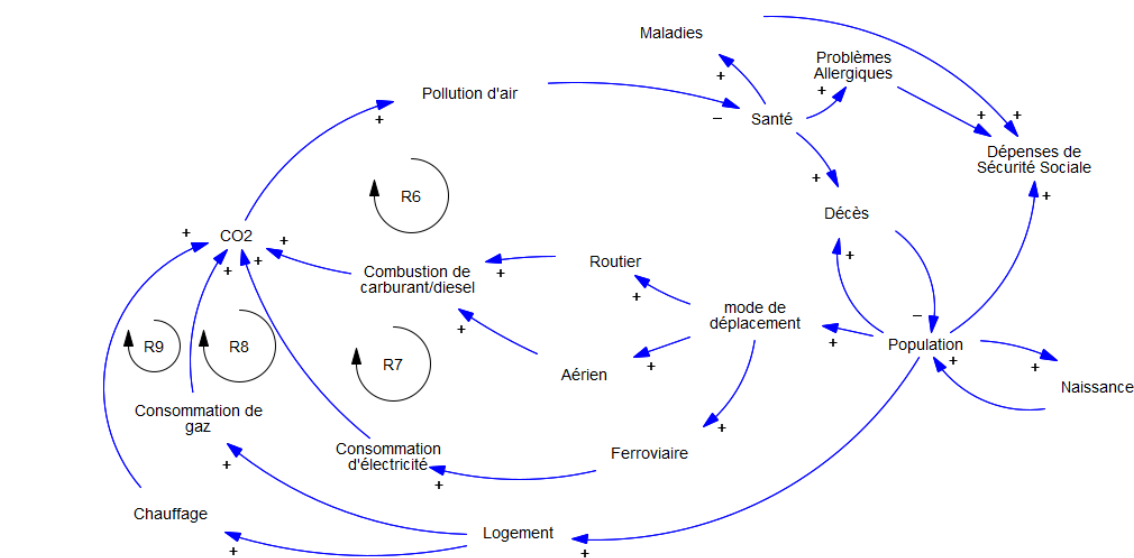
## 2. Relation entre émissions de gaz à effet de serre et CO<sub>2</sub> :

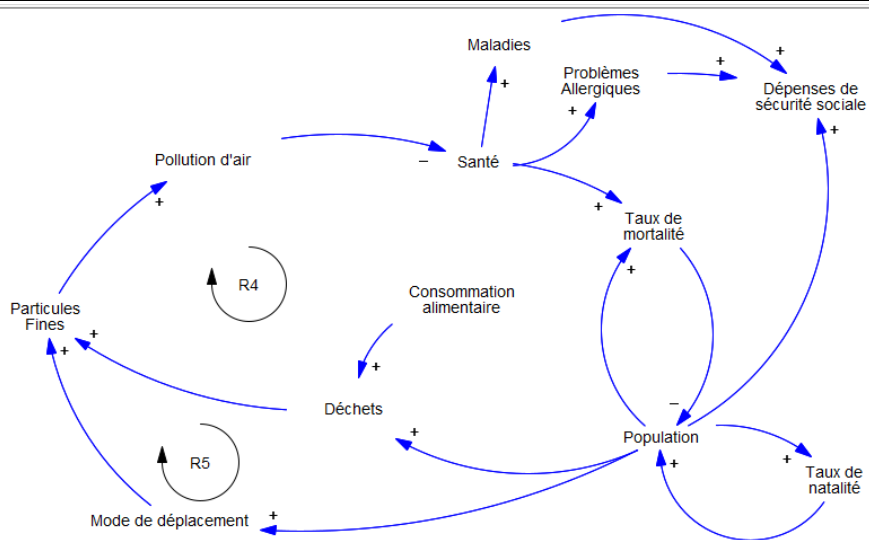
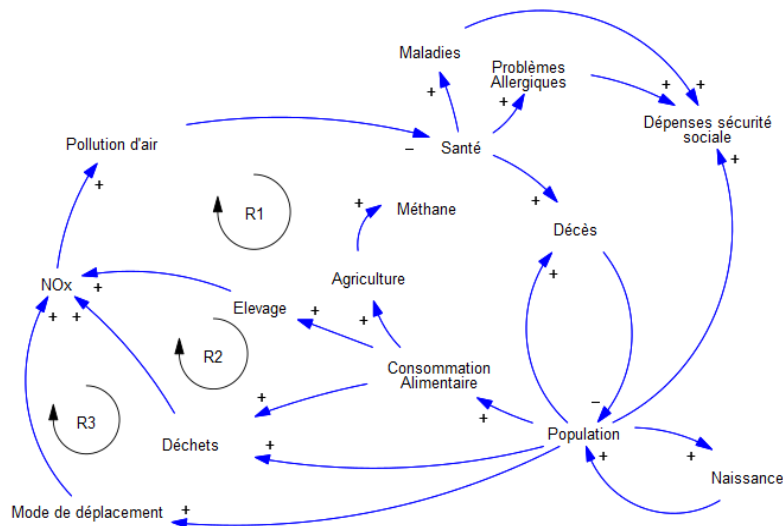
- Les émissions de CO<sub>2</sub> sont principalement causées par la combustion de combustibles fossiles.
- L'augmentation des émissions de CO<sub>2</sub> contribue à l'accumulation de gaz à effet de serre dans l'atmosphère et au réchauffement climatique.

## 3. Relation entre émissions de gaz à effet de serre et NO<sub>x</sub> :

- Les émissions de NO<sub>x</sub> peuvent être liées à la combustion d'énergie fossile, qui est également une source d'émissions de gaz à effet de serre.
- Les NO<sub>x</sub> peuvent réagir avec d'autres composés atmosphériques pour former de l'ozone terrestre, un polluant qui cause la pollution de l'air et des problèmes de santé.

Notez que cette représentation du cycle causal est une simplification et ne couvre pas tous les aspects complexes et les interactions entre les émissions de gaz à effet de serre, les particules, le CO<sub>2</sub>, les NO<sub>x</sub> et d'autres facteurs. Un modèle plus détaillé peut inclure des variables supplémentaires et des boucles de rétroaction pour représenter plus précisément les interactions et les effets entre ces facteurs.





Afin de faciliter la compréhension de la problématique, nous avons tracer un tableau des flux et des stocks ainsi que des et cela nous permet de remarquer que toutes les variables sont endogènes sauf la population, les naissances et les dépenses de sécurité sociale qui sont des variables exogènes car elles sont indépendantes de notre modèle d'émission de gaz à effet de serre. Nous avons ensuite cherché à savoir si ces variables sont quantifiables ou est-ce qu'elles sont évaluées par rapport à la qualité. Puis nous avons spécifié leurs dimensions à savoir si c'est social, technique, environnementale. Cela nous a permis d'obtenir le tableau ci-dessous :

Variables	Quantité/Qualité	Types de variables	Flux/Stock	CLD	Boucle R\B	Point Levier
Pollution de l'air	Qualité	Endogène	Flux	CLD 1, 2 et 3	-	Non
Population	Quantité	Exogène	Stock	CLD 1, 2 et 3	R1 à R9	Non
Santé	Qualité	Endogène	Flux	CLD 1, 2 et 3	R1 à R9	Non
Maladies	Quantité	Endogène	Flux	CLD 1, 2 et 3	R1 à R9	Non
Problèmes allergiques	Quantité	Endogène	Flux	CLD 1, 2 et 3	R1 à R9	Non
Dépenses de sécurité sociale	Quantité	Exogène	Flux	CLD 1, 2 et 3	-	Non
Décès	Quantité	Endogène	Flux	CLD 1, 2 et 3	R1 à R9	Non
Naissance	Quantité	Exogène	Flux	CLD 1, 2 et 3	R1 à R9	Non
Consommation alimentaire	Quantité	Endogène	Flux	CLD 1 et 2	R2, R4	Non
Élevage	Quantité	Endogène	Flux	CLD 1	R1	Non
Nox	Quantité	Endogène	Flux	CLD 1	R1, R2, R3	Non
Agriculture	Quantité	Endogène	Stock	CLD 1	R1	Non
Méthane	Quantité	Endogène	Flux	CLD 1	R1	Non
Déchets	Quantité	Endogène	Stock	CLD 1 et 2	R3, R5, R8	Oui
Particules fines	Quantité	Endogène	Flux	CLD 2	R4, R5	Non
Mode de déplacement routier	Quantité	Endogène	Flux	CLD 1, 2 et 3	R3, R6, R9	Oui
Mode de déplacement aérien	Quantité	Endogène	Flux	CLD 1, 2 et 3	R3, R6, R9	Oui
Mode de déplacement ferroviaire	Quantité	Endogène	Flux	CLD 1, 2 et 3	R3, R6, R9	Oui
Électricité	Quantité	Endogène	Flux	CLD 3	R3, R6, R9	Non
Combustion de carburant et diesel	Quantité	Endogène	Flux	CLD 3	R3, R6, R9	Non
Logement	Quantité	Endogène	Stock	CLD 3	R2, R4, R7	Oui
Gaz	Quantité	Endogène	Flux	CLD 3	R2, R4, R7	Non
Chauffage	Quantité	Endogène	Flux	CLD 3	R2, R4, R7	Non
CO2	Quantité	Endogène	Flux	CLD 3	R7, R8, R9	Non
Effet de serre	Quantité	Endogène	Stock	-	-	Non
Réchauffement climatique	Qualité	Exogène/Endogène	Stock	-	-	Non

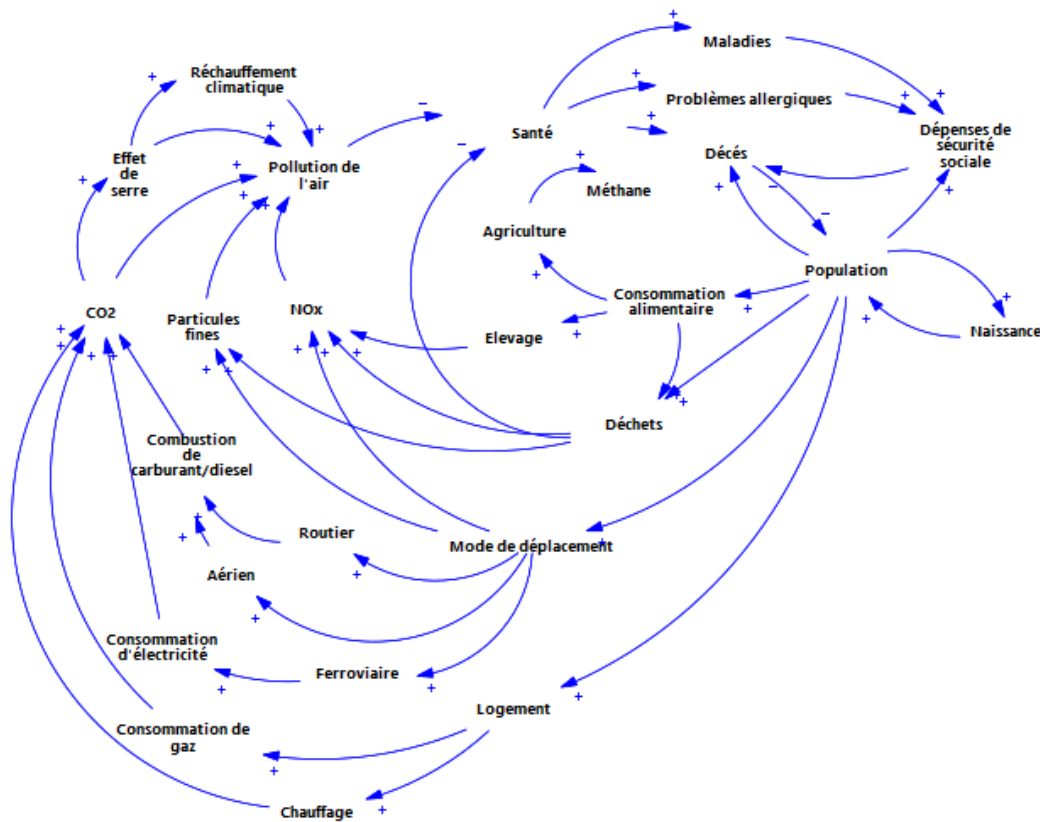
Ce tableau présente différentes variables liées à l'environnement, à la santé et à d'autres domaines, avec des informations sur leur quantité/qualité, leur type de variable, leur flux/stock, leur implication dans les boucles de rétroaction (CLD), et s'ils sont des points leviers pour influencer le système.

Voici une explication détaillée des différentes colonnes du tableau :

1. Variables : Il s'agit des différentes variables étudiées dans le contexte donné. Ces variables comprennent la pollution de l'air, la population, la santé, les maladies, les problèmes allergiques, les dépenses de sécurité sociale, les décès, les naissances, la consommation alimentaire, l'élevage, les émissions de Nox, l'agriculture, le méthane, les déchets, les particules fines, les modes de déplacement routier, aérien et ferroviaire, l'électricité, la combustion de carburant et diesel, le logement, le gaz, le chauffage, le CO<sub>2</sub>, l'effet de serre et le réchauffement climatique.
2. Quantité/Qualité : Cette colonne indique si la variable est mesurée en termes de quantité ou de qualité. Une variable mesurée en quantité peut être un nombre ou une valeur numérique, tandis qu'une variable mesurée en qualité est une évaluation subjective ou une catégorie.
3. Types de variables : Cette colonne indique si la variable est exogène ou endogène. Une variable exogène est influencée par des facteurs externes au système étudié, tandis qu'une variable endogène est influencée par d'autres variables internes du système.
4. Flux/Stock : Cette colonne spécifie si la variable est considérée comme un flux ou un stock. Un flux est une mesure du mouvement ou du changement dans le temps, tandis qu'un stock est une quantité accumulée à un moment donné.
5. CLD (Causal Loop Diagram) : Cette colonne indique dans quelles boucles de rétroaction causale (CLD) la variable est impliquée. Les CLD sont des diagrammes qui représentent graphiquement les relations de cause à effet entre les variables d'un système.
6. Boucle R/B : Cette colonne n'est pas remplie dans le tableau donné, mais généralement, elle indiquerait si la variable est impliquée dans une boucle de renforcement (R) ou une boucle de stabilisation (B) du système.
7. Point Levier : Cette colonne indique si la variable est un point levier potentiel pour influencer le système dans son ensemble. Un point levier est une variable qui, lorsqu'elle est modifiée, peut avoir un impact significatif sur le comportement ou la dynamique globale du système.

En résumé, le tableau fournit des informations sur différentes variables, leurs mesures, leurs types, leurs flux/stocks, leur implication dans les boucles de rétroaction et leur potentiel en tant que points leviers dans le système étudié.

Par la suite, nous avons procédé à la construction d'un modèle sur le logiciel Vensim, VENSIM nous permet d'explorer la structure de nos modèles par un affichage de boucles de causalité. Un CLD (Causality Loop Diagram) est un outil de modélisation utilisé pour visualiser les relations de cause à effet entre différents facteurs dans un système. Lorsqu'il s'agit de modéliser les émissions de gaz à effet de serre, le but d'un CLD est de représenter les différentes variables qui influencent la quantité de gaz à effet de serre produite, ainsi que les interactions entre elles.



En utilisant un CLD pour modéliser les émissions de gaz à effet de serre, nous avons pu mieux comprendre les facteurs qui contribuent aux émissions de gaz à effet de serre, ainsi que les impacts potentiels des différentes interventions et politiques par l'analyse des boucles de notre modèle d'émission de GES sur Clermont Métropole.

En effet, nous avons pu constater que plus il y'a d'émissions de gaz à effet de serre (GES) et plus il y'a des conséquences significatives sur la qualité de l'air à

Clermont Métropole car la pollution de l'air est étroitement liée aux émissions de GES, qui contribuent au réchauffement climatique et à l'augmentation des températures dans la région. En effet, la pollution peut entraîner la formation du SMOG qui est un mélange de polluants atmosphériques, y compris les oxydes d'azote (NOx), les composés organiques volatils (COV) et les particules fines. Les polluants atmosphériques peuvent causer des problèmes de santé à court terme, tels que des problèmes respiratoires, cardiovasculaires, des cancers et des problèmes allergiques à long terme. Cela peut aussi avoir des conséquences fatales chez les personnes les plus vulnérables comme les personnes âgées, les enfants et les personnes déjà atteintes de maladies respiratoires.

Ainsi, l'augmentation de la population peut avoir des conséquences importantes sur différents aspects de la vie en société, tels que :

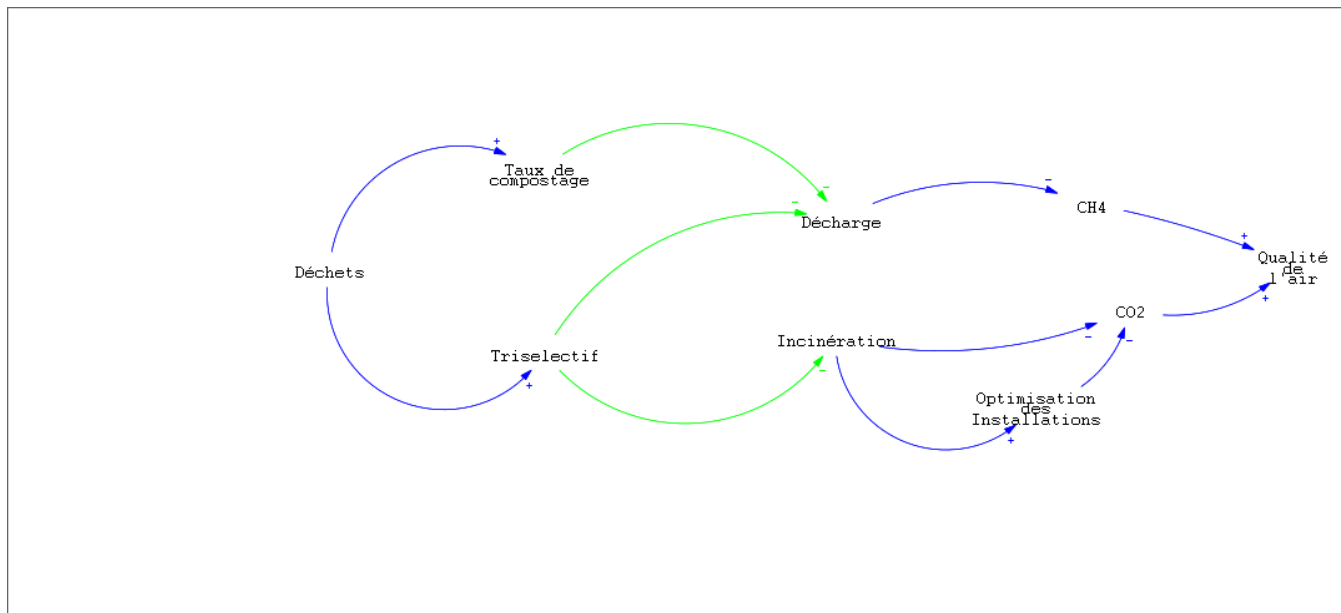
- L'augmentation de la population peut entraîner une augmentation de la demande de nourriture, ce qui peut entraîner une augmentation de la production alimentaire incluant l'utilisation des terres agricoles ainsi que sur l'utilisation des pesticides et d'engrais qui peuvent contribuer à l'émission de méthane.
- L'augmentation de la demande alimentaire peut à son tour entraîner une augmentation de l'élevage, ce qui peut avoir un impact sur l'environnement. L'élevage peut contribuer aux émissions de gaz à effet de serre, notamment de méthane, en raison de la digestion des animaux et de la gestion des déchets. Il peut également entraîner une utilisation des terres agricoles et de l'eau.
- L'augmentation de la population peut également entraîner une pression accrue sur le marché du résidentiel, avec une augmentation de la demande de logements qui nécessite la construction de nouveaux logements entraînant ainsi des émissions de gaz à effet de serre dues à l'extraction et au transport des matériaux de construction. L'augmentation de la consommation d'électricité pour l'éclairage et les appareils électroménagers. La consommation du gaz pour le chauffage est responsable d'une part importante de l'émission de GES sur Clermont Métropole
- La gestion des déchets est également une source d'émissions de GES à Clermont Métropole. Les déchets organiques qui se décomposent dans les décharges produisent du méthane, un gaz à effet de serre plus puissant que le CO<sub>2</sub>. La production de déchets est également liée à la consommation et la production alimentaire excessive qui nécessitent souvent une production intensive d'énergie et de matières premières et à l'augmentation de la population.
- Une augmentation de la population peut entraîner une augmentation du trafic et des problèmes de transport, tels que les embouteillages et les retards. Les transports sont responsables d'une grande partie des émissions de GES dans Clermont Métropole. Les voitures, les bus et les camions utilisent des combustibles fossiles pour fonctionner, ce qui produit du dioxyde de carbone (CO<sub>2</sub>) et d'autres gaz à effet de serre. Les émissions de GES sont exacerbées par le trafic dense dans la ville, entraînant une augmentation de la pollution de l'air.



Cette boucle de causalité montre comment les activités humaines à Clermont Métropole contribuent aux émissions de GES et à l'augmentation du réchauffement climatique qui peut avoir des effets néfastes sur la santé humaine et sur l'environnement. Cela nous a aidés à identifier les domaines clés où des mesures doivent être prises pour réduire les émissions de gaz à effet de serre et à concevoir des stratégies pour atteindre les objectifs de réduction des émissions.

## 2- Les secteurs émetteurs et les différents scénarios

### Secteur déchet



Cette boucle est une approche holistique qui vise à améliorer la qualité de l'air à Clermont Métropole en exploitant les leviers d'action de la décomposition des déchets et du traitement par incinération. Tout d'abord on a les déchets non recyclables, tels que les plastiques non recyclables, peuvent être traités par incinération. Les installations de traitement par incinération sont conçues pour brûler les déchets à des températures élevées, ce qui permet de réduire leur volume et de produire de l'énergie sous forme de chaleur. Cette chaleur peut être utilisée pour alimenter les bâtiments, les industries ou pour la production d'électricité. Mais aussi, les déchets organiques collectés, tels que les restes de nourriture et les déchets de jardin, sont acheminés vers des installations de décomposition. Dans ces installations, les déchets organiques sont transformés en compost grâce à un

processus de décomposition naturelle. Le compost ainsi produit est un engrais naturel riche en nutriments, qui peut être utilisé pour améliorer la qualité des sols agricoles de la région. Ainsi, pour améliorer la qualité de l'air à Clermont Métropole, nos solutions sont les suivantes :

### 1. Collecte sélective et tri des déchets :

La première étape consiste à mettre en place un système de collecte sélective et de tri des déchets. Les habitants de Clermont Métropole sont sensibilisés à l'importance de trier correctement leurs déchets afin de séparer les déchets organiques des autres types de déchets. Des bacs de collecte séparés sont installés dans toute la métropole pour faciliter le tri et la collecte sélective.

### 3. Compostage des déchets

Le compost produit à partir des déchets organiques est utilisé localement dans l'agriculture. Il peut être utilisé comme amendement du sol pour améliorer sa fertilité, réduire la dépendance aux engrais chimiques et favoriser des pratiques agricoles durables. En utilisant le compost, les agriculteurs de Clermont Métropole peuvent réduire l'utilisation d'engrais synthétiques, qui contribuent souvent à la pollution de l'air lors de leur production et de leur utilisation.

D'autres solutions peuvent aussi être mis en place comme la filtration des gaz d'échappement pour minimiser l'impact des gaz émis lors de l'incinération sur la qualité de l'air. Ainsi, les émissions polluantes sont réduites au maximum avant d'être rejetées dans l'atmosphère. Il faut aussi sensibiliser et éduquer la population car tout au long de la boucle CLD, des campagnes de sensibilisation sont menées pour informer les habitants sur l'importance de participer à la collecte sélective, au tri des déchets et à la valorisation des déchets organiques.

En combinant la décomposition des déchets organiques et le traitement par incinération avec des mesures de collecte sélective et de filtration des gaz d'échappement, la boucle CLD permet à Clermont Métropole de réduire les émissions de gaz à effet de serre et de particules fines, contribuant ainsi à améliorer la qualité de l'air dans la région.

#### - Scénario

##### ⇒ Tri et recyclage :

Réduction de la quantité de déchets incinérés ou envoyés en décharge : par exemple, une diminution de 10 000 tonnes de déchets incinérés par an. Ce chiffre peut être exprimé en pourcentage de réduction par rapport à la quantité totale de déchets générés.

La diminution de la quantité de déchets incinérés peut contribuer à réduire les émissions de CO<sub>2</sub> associées à ce processus. Les pourcentages de diminution de la quantité de CO<sub>2</sub> émise dépendent de la réduction réelle de la quantité de déchets incinérés.

Pour estimer les pourcentages de diminution des émissions de CO<sub>2</sub>, il est nécessaire de comparer la quantité de CO<sub>2</sub> émise avant et après la diminution de la

quantité de déchets incinérés. Cela dépendra de la quantité totale de déchets incinérés avant la mise en place de la mesure de réduction.

Par exemple, si la quantité de déchets incinérés est réduite de 10 000 tonnes par an et que chaque tonne de déchets incinérés émet 2 tonnes de CO<sub>2</sub>, alors la réduction totale des émissions de CO<sub>2</sub> serait de 20 000 tonnes par an. Cela représenterait une diminution de CO<sub>2</sub> de 20 % si les émissions totales de CO<sub>2</sub> avant la réduction étaient de 100 000 tonnes par an.

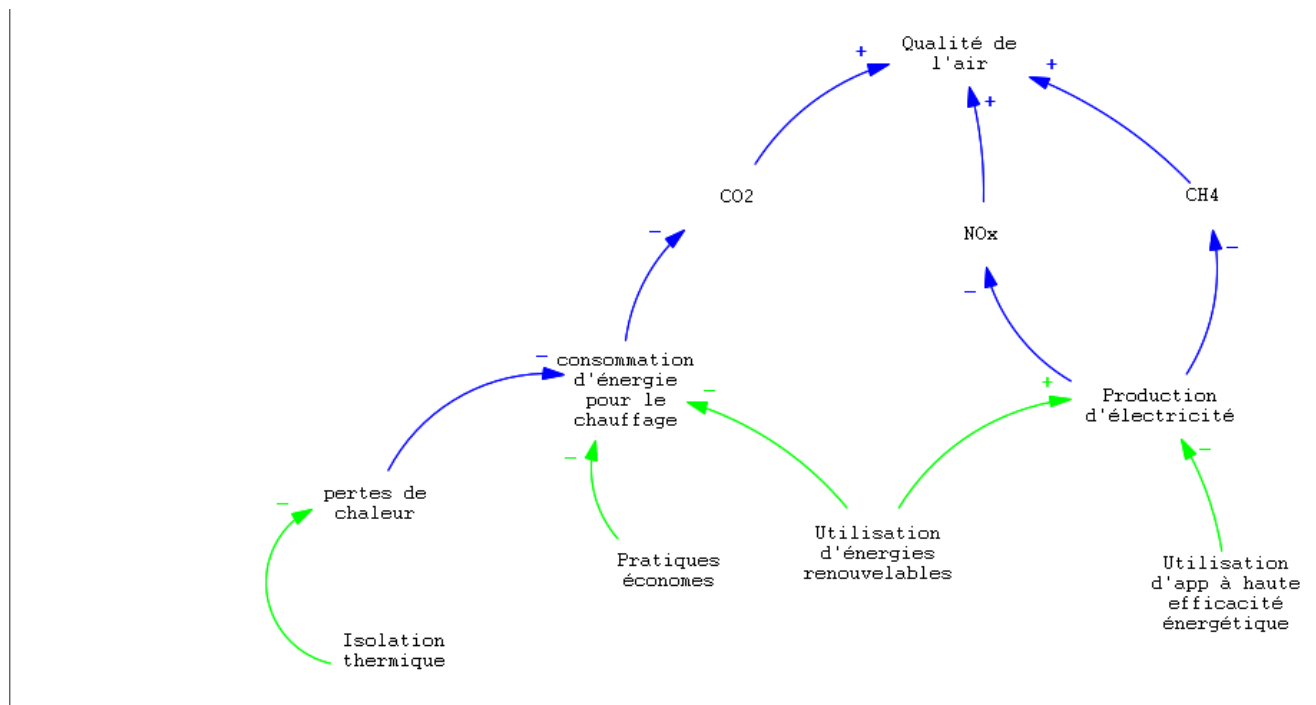
Les pourcentages de diminution réels dépendront des chiffres spécifiques de la quantité de déchets incinérés et des émissions de CO<sub>2</sub> associées à ces déchets avant et après la réduction.

Il est recommandé de se référer aux données spécifiques de Clermont Métropole sur la quantité de déchets incinérés et les émissions de CO<sub>2</sub> associées pour obtenir des estimations plus précises des pourcentages de diminution des émissions de CO<sub>2</sub> dans cette région spécifique.

## ⇒ Compostage des déchets organiques :

Réduction des émissions de méthane provenant de la décomposition des déchets organiques

- Scenario secteur résidentiel



Au niveau du secteur résidentiel de Clermont Métropole, les émissions de gaz à effet de serre (GES) peuvent être attribuées à plusieurs causes. Dans notre étude, on

va prendre en considération que 2 causes qui sont la consommation d'énergie pour le chauffage et la consommation d'électricité. Voici quelques propositions pour réduire les émissions des GES sur la métropole dans chacune des causes :

1) Consommation d'énergie pour le chauffage

Proposition 1 : Améliorer l'isolation thermique des bâtiments pour réduire les pertes de chaleur et diminuer la consommation d'énergie nécessaire pour chauffer les bâtiments.

L'amélioration de l'isolation thermique des bâtiments est une solution efficace pour réduire la consommation d'énergie liée au chauffage et, par conséquent, les émissions de GES. En renforçant l'isolation des murs, des fenêtres et des toits, on limite les pertes de chaleur et on crée une barrière plus efficace contre les conditions climatiques extérieures. Cela permet de maintenir une température plus stable à l'intérieur des habitations, réduisant ainsi la nécessité de recourir à des systèmes de chauffage énergivores.

Cette proposition peut être mise en œuvre en encourageant les propriétaires à réaliser des travaux d'isolation à travers des campagnes d'information qui peuvent être lancées pour sensibiliser les résidents aux avantages de l'isolation thermique et les guider dans les démarches à suivre pour améliorer l'efficacité énergétique de leur logement.

Proposition 2 : Encourager l'utilisation de systèmes de chauffage moins émetteurs de CO<sub>2</sub>, tels que les pompes à chaleur, le bois ou les énergies renouvelables.

Le choix du système de chauffage peut avoir un impact significatif sur les émissions de GES. Promouvoir l'utilisation de systèmes de chauffage plus propres et moins émetteurs de CO<sub>2</sub>, tels que les pompes à chaleur, les chaudières à bois ou les énergies renouvelables, peut contribuer à réduire les émissions dans le secteur résidentiel.

L'encouragement à l'adoption de ces technologies peut se faire à travers des incitations financières, des subventions ou des programmes de soutien spécifiques. Par exemple, des incitations fiscales peuvent être accordées aux propriétaires qui optent pour l'installation de pompes à chaleur ou de panneaux solaires thermiques. Des partenariats avec des fournisseurs d'énergie renouvelable peuvent également être établis pour faciliter l'accès à ces solutions plus écologiques.

Proposition 3 : Encourager les pratiques économes en énergie, telles que l'utilisation de thermostats programmables ou le port de vêtements chauds pour réduire les besoins de chauffage.

L'utilisation de thermostats programmables est une pratique intelligente qui permet de réguler la température intérieure en fonction des besoins réels. Vous pouvez programmer votre thermostat pour baisser automatiquement la température lorsque vous n'êtes pas à la maison ou pendant la nuit, et l'augmenter avant votre retour.

Cela permet de réduire la consommation d'énergie inutile tout en maintenant un niveau de confort adéquat. De plus, les thermostats intelligents sont désormais disponibles, permettant une gestion encore plus précise et personnalisée de la température de votre domicile.

En parallèle, le port de vêtements chauds à l'intérieur peut être une solution originale pour réduire les besoins de chauffage. En se couvrant davantage, il est possible de maintenir une température plus basse dans les pièces, ce qui entraîne des économies d'énergie significatives. Enveloppez-vous dans un pull confortable, enfillez des chaussettes épaisses et utilisez des couvertures douillettes pour rester au chaud sans surcharger les systèmes de chauffage.

En adoptant ces pratiques économes en énergie, les résidents peuvent non seulement contribuer à réduire les émissions de GES dans le secteur résidentiel, mais aussi réaliser des économies sur leurs factures d'énergie. C'est un moyen créatif et simple de prendre des mesures concrètes pour améliorer la qualité de l'air et préserver l'environnement tout en maintenant un niveau de confort optimal dans nos foyers.

### 2) Consommation d'électricité

Proposition 1 : Encourager l'utilisation d'appareils électroménagers et électroniques à haute efficacité énergétique pour réduire la consommation d'électricité.

Les appareils électroménagers et électroniques consomment une quantité considérable d'électricité dans nos foyers. En encourageant l'utilisation d'appareils à haute efficacité énergétique, nous pouvons réduire significativement la consommation d'électricité et, par conséquent, les émissions de GES. Les appareils tels que les réfrigérateurs, les lave-linges, les lave-vaisselles et les téléviseurs sont disponibles dans des modèles économes en énergie, affichant des étiquettes énergétiques indiquant leur efficacité.

Pour promouvoir cette proposition, des incitations financières, comme des remises ou des programmes de remboursement, peuvent être proposées pour encourager l'achat de ces appareils plus écologiques. De plus, des réglementations peuvent être mises en place pour exiger que seuls les appareils économes en énergie soient disponibles sur le marché.

Proposition 2 : Promouvoir l'utilisation d'énergies renouvelables pour produire de l'électricité, telles que les panneaux solaires ou les éoliennes domestiques.

La production d'électricité à partir de sources d'énergie renouvelable est une solution clé pour réduire les émissions de GES liées à la consommation d'électricité dans le secteur résidentiel. Encourager l'installation de panneaux solaires sur les

toits des habitations ou la mise en place d'éoliennes domestiques permet aux résidents de produire leur propre électricité de manière écologique.

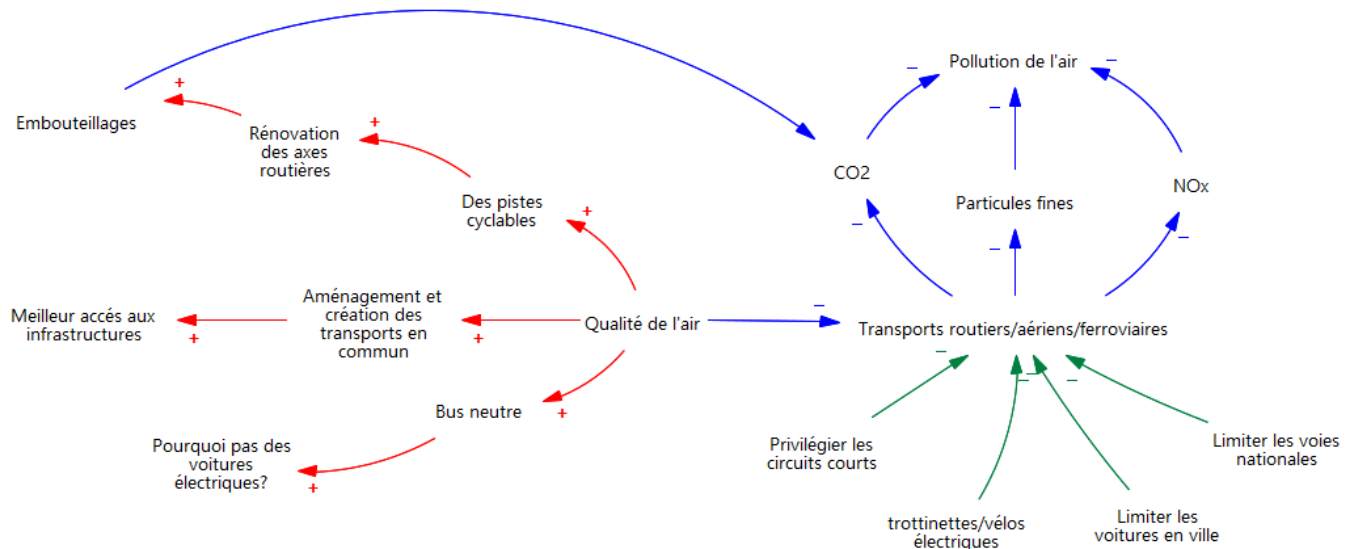
Des partenariats avec des fournisseurs d'énergie verte peuvent être établis pour faciliter l'accès à ces technologies. De plus, des campagnes de sensibilisation peuvent être menées pour informer les résidents sur les avantages environnementaux et économiques de l'énergie renouvelable, mettant en avant des témoignages de personnes ayant déjà adopté ces solutions.

Proposition 3 : Encourager l'utilisation de l'éclairage LED pour réduire la consommation d'électricité liée à l'éclairage.

L'éclairage représente une part importante de la consommation d'électricité dans les foyers. L'utilisation de lampes à incandescence traditionnelles ou de lampes fluorescentes compactes (LFC) peut être remplacée par des ampoules LED plus économes en énergie. Les ampoules LED consomment jusqu'à 80 % d'électricité en moins que les ampoules à incandescence, tout en offrant une durée de vie plus longue.

L'éclairage LED offre également une variété de possibilités en termes de design et d'ambiance lumineuse. Les ampoules LED sont disponibles dans une large gamme de couleurs et de températures de couleur, permettant de créer différentes atmosphères dans les pièces. De plus, elles sont disponibles sous différentes formes et tailles, offrant ainsi une flexibilité de choix pour s'adapter à tous les luminaires. En encourageant l'utilisation de l'éclairage LED, nous pouvons réduire considérablement la consommation d'électricité liée à l'éclairage, contribuant ainsi à la réduction des émissions de gaz à effet de serre. De plus, l'éclairage LED offre des possibilités de personnalisation et d'expression créative, ajoutant une touche d'originalité et de style à nos espaces de vie. En adoptant cette proposition, nous pouvons éclairer nos vies tout en préservant l'environnement de façon durable.

- **Scenario secteur Transport**



Concernant le secteur transport, on propose 4 leviers d’actions qui pourraient contribuer à l’amélioration de la qualité d’air à Clermont Auvergne Métropole.

- 1) Privilégier les circuits courts : Pour mettre en place ce levier d'action, il est possible de promouvoir les systèmes d'approvisionnement local en encourageant les producteurs et les commerçants locaux. Des initiatives telles que les marchés fermiers, les coopératives alimentaires et les réseaux de distribution courts peuvent être encouragées. De plus, des partenariats entre les producteurs locaux et les restaurants ou les cantines scolaires peuvent favoriser l'utilisation de produits locaux et réduire la dépendance aux transports longue distance.
- 2) Utilisation des trottinettes ou vélos électriques : Pour encourager cette pratique, il est possible de mettre en place des infrastructures adaptées, comme des pistes cyclables sécurisées et des stations de recharge pour les vélos électriques. Des campagnes de sensibilisation peuvent également être menées pour promouvoir les avantages des modes de transport actifs, tels que la santé, la réduction des émissions et la réduction de la congestion. Des systèmes de partage de vélos ou de trottinettes électriques peuvent être mis en place pour faciliter leur utilisation.
- 3) Limiter les voitures en ville : Pour réduire l'utilisation des voitures en ville, des politiques favorisant les transports en commun peuvent être mises en place, telles que l'extension du réseau de bus, la création de lignes de

tramway ou de métro, et la tarification incitative pour les déplacements en voiture. La création de zones piétonnes et de zones à faibles émissions peut également décourager l'utilisation des voitures. Il est important de fournir des alternatives de transport pratiques et attractives pour que les résidents choisissent de laisser leur voiture au profit d'autres modes de transport.

- 4) Limiter les voies nationales : Pour limiter l'expansion des voies nationales, il est essentiel de prioriser les investissements dans les infrastructures de transport en commun et les modes de déplacement actifs. Cela peut impliquer la création de nouvelles pistes cyclables, l'amélioration des réseaux de transport en commun, et l'aménagement de rues conviviales pour les piétons. Il est également possible d'encourager le covoiturage et d'établir des plans de mobilité urbaine durable pour optimiser l'utilisation des infrastructures existantes.

En mettant en œuvre ces leviers d'action, Clermont Auvergne Métropole peut favoriser une transition vers un système de transport plus durable. Cela implique de créer un environnement propice aux modes de transport alternatifs, de promouvoir une utilisation responsable des ressources locales, de réduire la congestion et les émissions de gaz à effet de serre, et d'améliorer la qualité de vie des résidents en créant des espaces urbains conviviaux et agréables.

### III-Partie 3 : SIMULATION sur 2030 et 2050

Nous avons décidé de faire la simulation sur le cas des déchets.

Dans notre cas, les graphiques sont tous constant car nous n'avons pas réussi exactement la simulation car nous n'avons pas toutes les données en nos possessions. Mais néanmoins, voici la méthode à suivre dans notre cas :

La méthode de simulation :

Définir l'objectif de la simulation : Clarifiez ce qu'on étudie ou comprendre en utilisant le modèle. Identifiez les variables clés et les relations entre elles.

Collecter les données nécessaires : Rassemblez les données nécessaires pour alimenter le modèle. Cela peut inclure des données historiques, des données actuelles ou des estimations pour les variables pertinentes.

Identifier les paramètres du modèle : Identifiez les paramètres du modèle, qui sont les variables ajustables qui peuvent influencer les résultats de la simulation. Déterminez les valeurs de départ de ces paramètres.



**Concevoir le scénario de simulation :** Déterminez les conditions initiales de la simulation et définissez les valeurs des paramètres à chaque étape de la simulation. Créez des scénarios alternatifs si vous souhaitez comparer différents résultats.

**Mettre en œuvre la simulation :** Utilisez un langage de programmation ou un logiciel de modélisation approprié pour mettre en œuvre le modèle et la simulation. Assurez-vous que le modèle est correctement configuré et que les équations ou les règles de fonctionnement sont correctement intégrées.

**Exécuter la simulation :** Lancez la simulation en utilisant les conditions initiales et les valeurs des paramètres définis. Laissez le modèle exécuter et générer les résultats.

**Analyser les résultats :** Analysez les résultats de la simulation, y compris les tendances, les variations et les relations entre les variables. Comparez les résultats des différents scénarios si vous en avez créé.

**Interpréter les résultats :** Interprétez les résultats de la simulation en les reliant à votre objectif initial. Identifiez les conclusions clés et tirez des enseignements pour prendre des décisions informées.

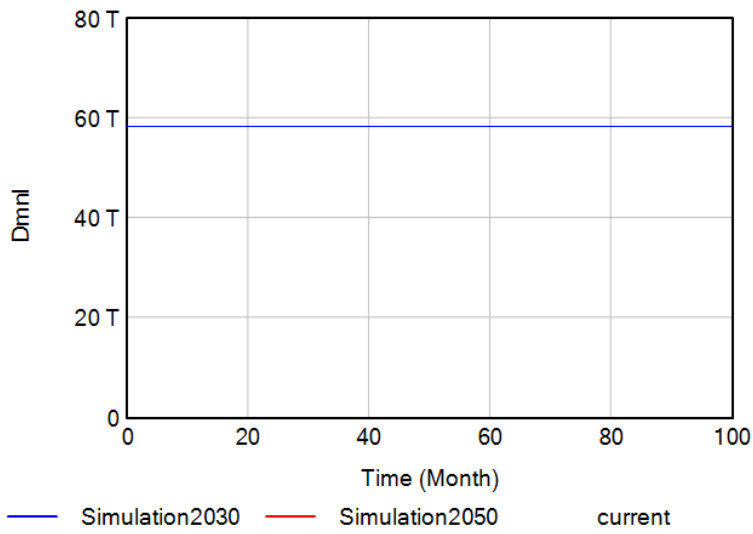
**Valider et ajuster le modèle :** Évaluez la validité du modèle en comparant les résultats de la simulation aux données réelles ou aux connaissances existantes. Si nécessaire, ajustez les paramètres ou les équations du modèle pour améliorer sa précision et sa pertinence.

**Communiquer les résultats :** Présentez les résultats de la simulation de manière claire et compréhensible. Utilisez des graphiques, des tableaux ou d'autres moyens visuels pour rendre les résultats accessibles aux parties prenantes et expliquez les implications des résultats obtenus.

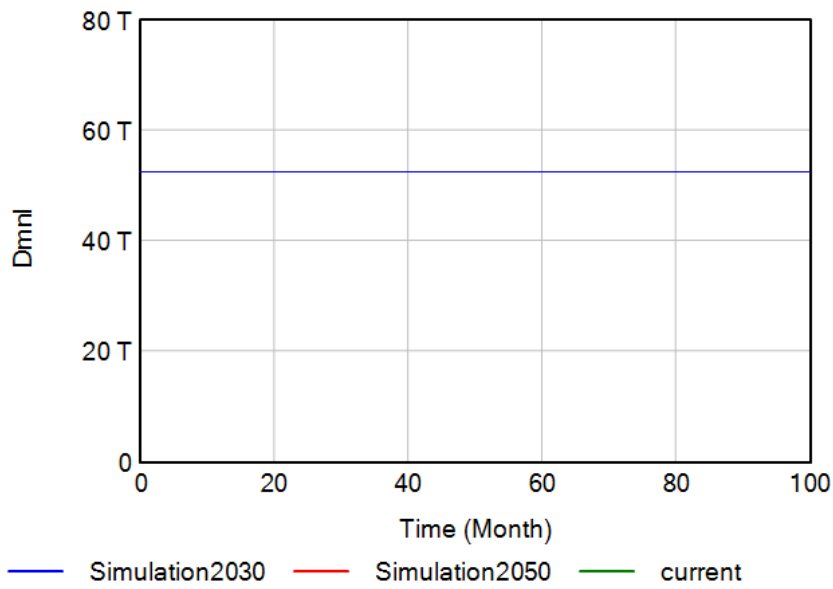
En suivant ces étapes, vous pouvez réaliser une simulation efficace sur un modèle et obtenir des informations précieuses pour la prise de décision.

Dans notre cas, les graphiques sont tous constants car nous n'avons pas réussi exactement la simulation car nous n'avons pas toutes les données en nos possessions.

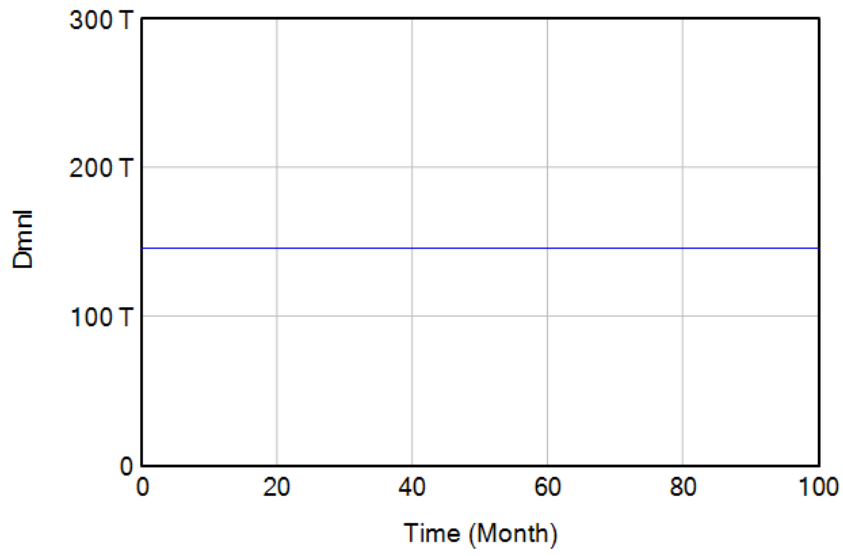
Taux de compostage



Décharge

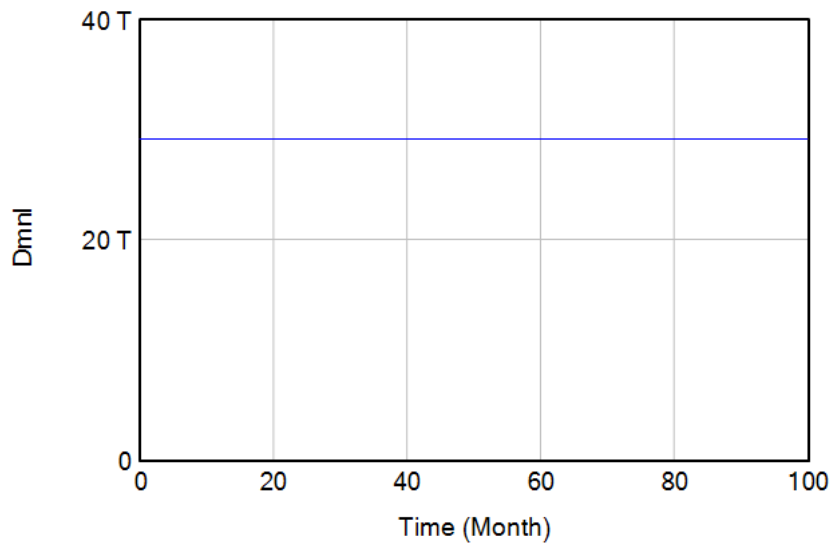


### Déchets



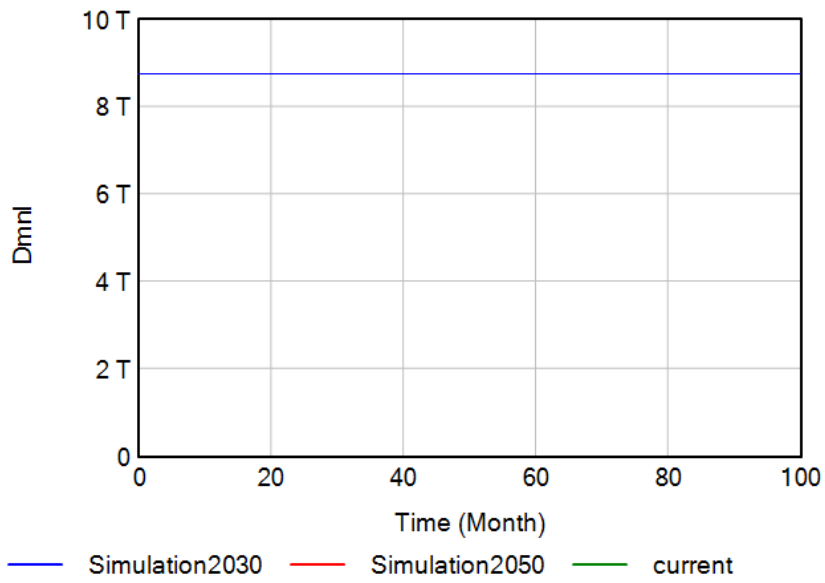
— Simulation2030 — Simulation2050 — current

### Incinération

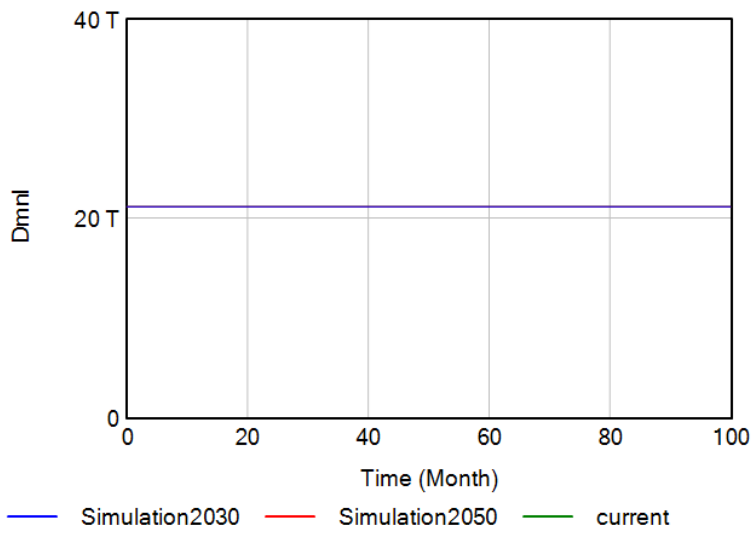


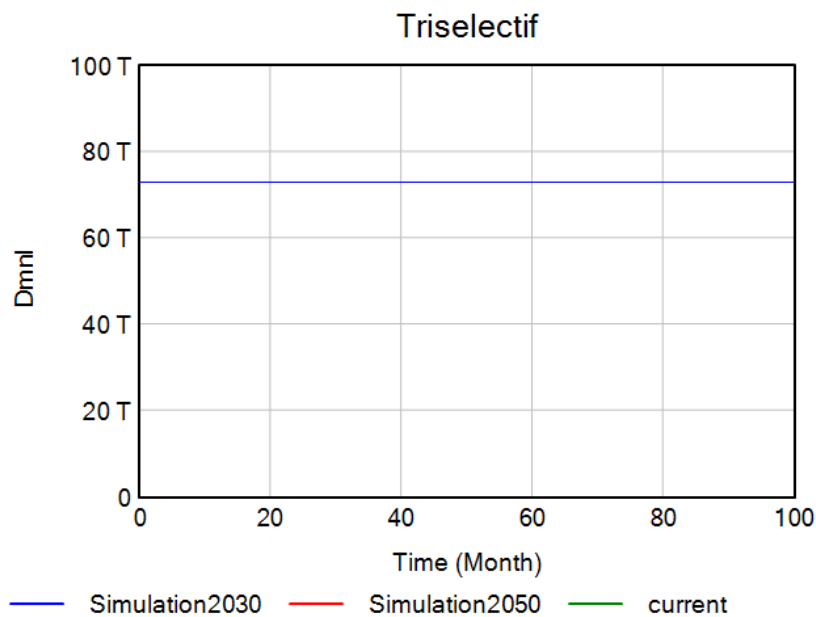
— Simulation2030 — Simulation2050 — current

### Optimisation des Installations



### Qualité de l'air





#### IV-CONCLUSION

Nos résultats montrent que si aucune mesure adéquate n'est prise, les émissions de gaz à effet de serre continueront d'augmenter dans la région, entraînant des conséquences néfastes telles que l'augmentation des températures, l'augmentation de la population, l'aggravation des événements météorologiques extrêmes, et la détérioration de la qualité de l'air.

Pour atteindre les objectifs de l'Accord de Paris et limiter le réchauffement global en dessous de 2 degrés Celsius par rapport aux niveaux préindustriels, il est impératif de réduire considérablement les émissions de gaz à effet de serre. Cependant, nos simulations démontrent également que des actions ciblées peuvent inverser cette tendance. En mettant en œuvre des politiques de réduction des émissions, en favorisant les transports tels que les vélos, en promouvant l'efficacité énergétique ainsi que la gestion correcte des déchets, en améliorant les transports en commun et en adoptant des pratiques de consommation durables, il est possible de réduire significativement les émissions de gaz à effet de serre dans la métropole de Clermont-Ferrand. Il est essentiel que les décideurs, les acteurs locaux et la communauté dans son ensemble collaborent sur le plan inspire pour atténuer le changement climatique et à promouvoir la résilience climatique.

La métropole de Clermont-Ferrand a un rôle important à jouer dans la transition vers une économie sobre en carbone et résiliente au climat. En agissant dès maintenant, en investissant dans des infrastructures durables, en encourageant les pratiques de production et de consommation responsables, et en sensibilisant la population aux enjeux climatiques, nous pouvons créer un avenir plus durable pour les habitants de la région.

En conclusion, la lutte contre le changement climatique nécessite une approche globale, mais chaque action locale compte. Il est temps de passer à l'action et de

travailler ensemble pour construire un avenir plus vert, plus résilient et plus équilibré pour Clermont-Ferrand et ses habitants.

### V-BIBLIOGRAPHIE

Clermont Métropole. (N.d.). Consommation énergétique et réduction des émissions de gaz à effet de serre. Récupéré le 2 juin 2023, à partir de <https://www.clermontmetropole.eu/preserver-recycler/transition-energetique-et-ecologique/energie-et-changements-climatiques/consommation-energetique-et-reduction-des-emissions-de-gaz-a-effet-de-serre>

Ministère de la Transition Écologique. (N.d.). Les émissions de gaz à effet de serre et l'empreinte carbone. Récupéré le 2 juin 2023, à partir de <https://www.notre-environnement.gouv.fr/themes/climat/article/les-emissions-de-gaz-a-effet-de-serre-et-l-empreinte-carbone>

ORCAE Auvergne-Rhône-Alpes. (N.d.). Territoire Clermont-Ferrand. Récupéré le 2 juin 2023, à partir de [https://www.orcae-auvergne-rhone-alpes.fr/carte-interactive/territoire?tx\\_cimassociation\\_displayassociations%5Baction%5D=show&tx\\_cimassociation\\_displayassociations%5Bassociation%5D=1006&tx\\_cimassociation\\_displayassociations%5Bcontroller%5D=Association&cHash=a339dbc2ebf1fa473bffa69d5c909556](https://www.orcae-auvergne-rhone-alpes.fr/carte-interactive/territoire?tx_cimassociation_displayassociations%5Baction%5D=show&tx_cimassociation_displayassociations%5Bassociation%5D=1006&tx_cimassociation_displayassociations%5Bcontroller%5D=Association&cHash=a339dbc2ebf1fa473bffa69d5c909556)

ORCAE Auvergne-Rhône-Alpes. (N.d.). Profil du territoire - Clermont-Ferrand. Récupéré le 2 juin 2023, à partir de [https://www.orcae-auvergne-rhone-alpes.fr/fileadmin/user\\_upload/mediatheque/orcae/Profils\\_v1/Profil\\_246300701.pdf](https://www.orcae-auvergne-rhone-alpes.fr/fileadmin/user_upload/mediatheque/orcae/Profils_v1/Profil_246300701.pdf)

INSEE. (n.d.). Clermont-Ferrand (63113). Récupéré le 2 juin 2023, à partir de <https://www.insee.fr/fr/statistiques/2011101?geo=COM-63113>

INSEE. (N.d.). Les émissions de gaz à effet de serre en Auvergne-Rhône-Alpes. Récupéré le 2 juin 2023, à partir de [https://www.insee.fr/fr/statistiques/fichier/version-html/1300706/ifa\\_015.pdf](https://www.insee.fr/fr/statistiques/fichier/version-html/1300706/ifa_015.pdf)

ADEME. (N.d.). Bilan GES Territoires. Récupéré le 2 juin 2023, à partir de <https://bilans-ges.ademe.fr/fr/accueil/contenu/index/page/Bilan%2BGES%2BTerritoires/siGras/0>

Ministère de la Cohésion des Territoires et des Relations avec les Collectivités Territoriales. (2022). CRTE 84-63-6 - CRTE Clermont Auvergne Métropole. Récupéré le 2 juin 2023, à partir

de <https://agence-cohesion-territoires.gouv.fr/sites/default/files/2022-04/crte-84-63-6%20CRTE%20Clermont%20Auvergne%20Métropole.pdf>

ORCAE Auvergne-Rhône-Alpes. (N.d.). Les gaz à effet de serre. Récupéré le 2 juin 2023, à partir de <https://www.orcae-auvergne-r>

Carto Air. (N.d.). Valeurs repères de l'année 2020 sur Clermont-Ferrand. Récupéré le 2 juin 2023, à partir de [http://carto.air-rhonealpes.fr/commune/stats.php?id\\_com=63113](http://carto.air-rhonealpes.fr/commune/stats.php?id_com=63113)

Atmo Auvergne-Rhône-Alpes. (N.d.). Effets sur l'environnement. Récupéré le 2 juin 2023, à partir de <https://www.atmo-auvergnerhonealpes.fr/article/effets-sur-lenvironnement>

ORCAE Auvergne-Rhône-Alpes. (N.d.). Profil climat air énergie - Clermont-Ferrand. Récupéré le 2 juin 2023, à partir de [https://www.orcae-auvergne-rhone-alpes.fr/fileadmin/user\\_upload/mediatheque/orcae/Profils\\_v1/Profil\\_246300701.pdf](https://www.orcae-auvergne-rhone-alpes.fr/fileadmin/user_upload/mediatheque/orcae/Profils_v1/Profil_246300701.pdf)

Atmo Auvergne-Rhône-Alpes. (2022). Bilan de la qualité de l'air 2020 en Auvergne-Rhône-Alpes. Récupéré le 2 juin 2023, à partir de [https://www.atmo-auvergnerhonealpes.fr/sites/ra/files/atoms/files/atmo\\_bilan\\_2020\\_maquette\\_vdef.pdf](https://www.atmo-auvergnerhonealpes.fr/sites/ra/files/atoms/files/atmo_bilan_2020_maquette_vdef.pdf)