

Analyse systémique

Sujet : L'énergie et la qualité de l'air

Master 1 Economie de la Transition territoriale

Ledieu Chloé

Verdier Sébastien

Salek Yassine

Glossaire

L'énergie : Le mot « énergie » vient du Grec Ancien « *énergéia* », qui signifie « La force en action ». Aujourd'hui, l'énergie désigne « la capacité à effectuer des transformations. Toute action humaine requiert de l'énergie : le fait de se déplacer, de se chauffer, de fabriquer des objets et même de vivre.

Les énergies fossiles sont composées d'hydrocarbures, un composé organique constitué exclusivement d'atomes de carbone (C) et d'hydrogène (H) :

- Pétrole : une huile minérale d'origine naturelle composée d'une multitude de composés organiques, essentiellement des hydrocarbures.
- Gaz naturel : Le gaz naturel, ou gaz fossile, est un mélange gazeux d'hydrocarbures constitué principalement de méthane.
- Charbon : Combustible d'origine végétale, à base de carbone.

« Les particules en suspension (notées PM en anglais pour Particulate matter) incluent les matières microscopiques en suspension dans l'air ou dans l'eau. Les particules en suspension dans l'air se nomment aérosol. Les PM10 regroupent les particules de diamètre inférieur à 10 µm, les PM2,5 celles inférieures à 2,5 µm.

La toxicité des particules en suspension est essentiellement due aux particules de diamètre inférieur à 10µm. Elles peuvent être émises directement dans l'air par des activités anthropiques (industrie, résidentiel, agriculture, transports) et par des sources naturelles (feux de forêt, éruptions volcaniques, etc.). Des particules peuvent également se former directement dans l'atmosphère par réactions physico-chimiques entre des polluants déjà présents dans l'atmosphère. » Source INSEE¹

O3 : Il existe deux type d'Ozone : le bon, le stratosphérique et le mauvais Ozone qui est troposphérique ² :

- L'ozone stratosphérique est retrouvé à assez haute concentration dans la stratosphère terrestre. Cet ozone absorbant fortement les rayons ultraviolets, protège les organismes vivants de radiations U.V. Il est détruit par des aérosols, notamment issus de l'activité humaine, parmi lesquels les CFC, entraînant ainsi un trou dans la couche d'ozone.
- L'ozone troposphérique est formé par une réaction chimique impliquant le dioxyde d'azote avec l'oxygène de l'air. Or, pour former du dioxyde d'azote (NO₂), il faut du monoxyde d'azote (NO) directement rejeté par les automobiles, combiné à des composés organiques volatils (COV) provenant principalement des industries. L'ozone troposphérique contribue à l'effet de serre et aux pluies acides. C'est un facteur de dégradation des matériaux dont le caoutchouc. Chez l'homme ou l'animal, il est à l'origine d'irritation des muqueuses oculaires et respiratoires, de crises d'asthme chez les sujets sensibles.

¹ [Définition - Particules PM10 et PM2,5 | Insee](#)

² ([Ozone \(O3\) – Définition \(actu-environnement.com\)](#))

Dans cette étude nous rencontrerons le second type Ozone.

NO₂ : Le dioxyde d'azote est un composé chimique faisant partie d'un groupe de gaz hautement réactifs, appelés **oxydes d'azote (NO_x)**, comme le monoxyde d'azote (NO). Ils constituent les polluants majeurs de l'atmosphère terrestre. De plus c'est un polluant courant, émis dans l'atmosphère par un grand nombre de sources différentes, notamment par les moteurs à combustion. D'après l'Organisation mondiale de la santé (OMS), le NO₂ a des effets néfastes sur la santé : une exposition à long terme peut altérer la fonction pulmonaire et augmenter les risques de troubles respiratoires³.

Pour lutter contre l'utilisation de ses énergies fossiles, depuis quelques années se développent des alternatives que sont les énergies renouvelables.

Les énergies renouvelables : sont composées d'éléments naturels comme l'air, le soleil, considérées comme inépuisable et résilientes, elles sont moins polluantes que les énergies fossiles. Il existe 4 grandes familles d'énergies renouvelables :

- Énergie éolienne désigne l'énergie cinétique véhiculée par les masses d'air, elle permet de produire de l'électricité.
- Énergie solaire est une source d'énergie qui dépend du soleil par des panneaux photovoltaïques, thermiques et thermodynamiques, elle permet la production de l'électricité par la chaleur.
- Biomasse est une énergie obtenue par la combustion de matières biodégradables variées telles que le bois, les végétaux ou déchets organiques, elle permet de produire du chauffage et de l'électricité.
- Énergie hydraulique l'énergie fournie par le mouvement de l'eau, sous toutes ses formes : elle permet de produire principalement de l'électricité.

Qualité de l'air et ses mesures : Evaluation de l'état de l'air ambiant selon une échelle dépendant du taux de concentration des polluants.

En France, il existe deux indices de qualité de l'air, différents selon la taille de l'agglomération⁴:

- 1) Indice l'indice IQA : pour les agglomérations de taille inférieure à 100 000 habitants ; c'est un indice simplifié, qui peut reposer sur la mesure d'un nombre plus réduit de polluants.
- 2) L'indice ATMO pour les agglomérations dont la population dépasse 100 000 habitants qui renvoie à une échelle de 1 à 10. Il caractérise une pollution globale de fond, sur une journée et un périmètre géographique donné. Un sous-indice est calculé pour chacun des trois polluants suivants :
 - Le dioxyde d'azote est un électron non- apparié du dioxyde d'azote en fait un oxydant et un poison violent lié au transport, au chauffage et aux activités de combustion.
 - Le dioxyde de soufre : composé chimique de formule SO₂, liée à l'activité volcanique ou à l'industrie dû aux procédés de combustion.

³ [Le dioxyde d'azote \(NO₂\) : sources et impacts sur la santé | Meersens](#)

⁴ [Indice de l'air : Définition et intérêts des indices de l'air \(ispira-qualite-air.fr\)](#)

- Les poussières : combustible est n'importe quelle matière (particules solides finement divisées).

Gaz à effet de serre est un gaz d'origine naturelle constitué de vapeur d'eau ou dû aux activités humaines, absorbant et remettant une partie des rayons solaires, phénomène à l'origine de l'effet de serre ce qui est bénéfique sinon les températures seraient à moins 18 degrés. Cependant depuis l'industrialisation massif de nos économies rejetant beaucoup de ces gaz il est aujourd'hui considéré comme l'une des causes du réchauffement climatique.

Une zone d'emploi : c'est un espace géographique à l'intérieur duquel la plupart des actifs résident et travaillent, et dans lequel les établissements peuvent trouver l'essentiel de la main d'œuvre nécessaire pour occuper les emplois offerts.

Bassin d'emploi : c'est un découpage précis de la zone d'emploi qui regroupe également les communes proches, fortement liées sur le plan économique ou en raison des nombreuses migrations alternant domicile-travail quotidiennes ou hebdomadaires des salariées.⁵

Nous aborderons d'avantage les bassins d'emploi que nous trouvons plus significatifs pour notre étude.

⁵ [Base des zones d'emploi 2020 | Insee](#)

Introduction

« L'amour est dans l'air mais l'air est fortement contaminé » - Amit Abraham. Cette citation renvoie au fait que l'air qui est vitale pour l'Humanité est de plus en plus contaminé par les polluants. Tout comme une eau contaminée nous rend malade l'air possède les mêmes effets sur la santé.

Le rejet des énergies fossiles ainsi que les activités anthropiques ont des impacts importants sur la qualité de l'air, ainsi les collectivités territoriales adopte des plans comme « Air Climat Energie » pris par Clermont Auvergne Métropole. Ces décisions ne cessent de se répandre à l'échelle nationale

En effet à Clermont Auvergne Métropole, le sujet de l'air est important avec notamment l'adoption d'un Plan de Protection de l'Atmosphère qui définit les objectifs et les mesures pour améliorer la qualité de l'air pour qu'elle soit à un niveau inférieur de concentration de polluant atmosphérique défini par OMC, ce plan a été approuvé en 2008 et en 2014.

Ainsi l'amélioration de l'air passe par la réduction des polluant en provenance de ces trois grands axes :

- Le transport routier
- La consommation de chauffage par les résidentiel
- Le secteur de l'industrie



Clermont Auvergne Métropole développe un outil incontournable de la transition énergétique que sont les réseaux de chaleur, en effet cela permet de mutualiser les moyens de production et de baisser les émissions de polluant comparé à des solutions individuelles.

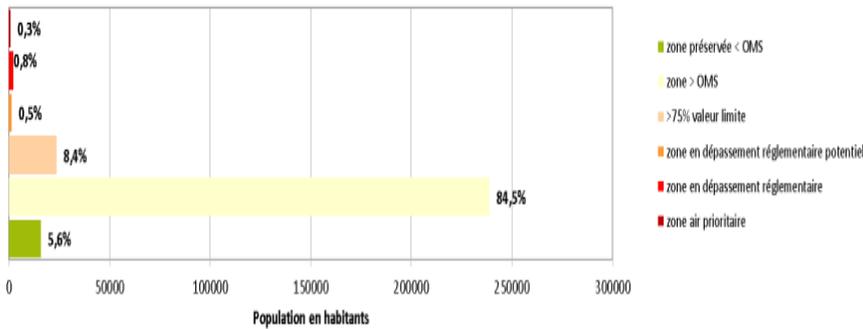
Il permet également de développer les énergies locales, renouvelables de plus il garantit une stabilité des coûts financier sur le long terme. Ce qui est élément important aux vues de l'inflation actuelle.

Clermont Auvergne Métropole s'appuie sur les réseaux de chaleur existant pour développer les énergies renouvelables, actuellement ce sont les réseaux de chaleur au bois qui permettent de chauffer l'équivalent de 8000 logements.

Cette extension se présente sous la forme d'un nouveau réseau de chaleur dans le quartier de Saint-Jacques mais également de l'extension de 15 kilomètres des deux réseaux clermontois ainsi que son interconnexion sur le secteur Estaing d'ici 2023.

Ses réseaux de chaleur joueront un rôle essentiel à l'avenir notamment dans l'amélioration de la qualité de l'air. Selon l'ATMO qui est un indice multi-polluant de la qualité de l'air les

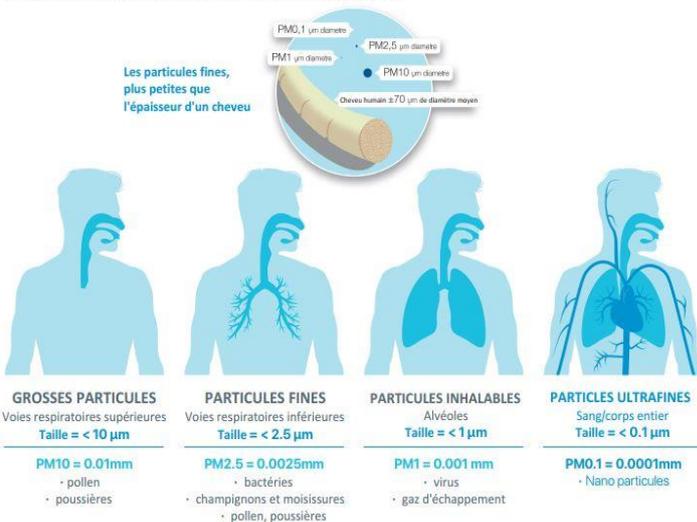
polluant les plus problématique en milieu urbain sont urbain : les particules fines PM10 et PM2,5 et le dioxyde d'azote (NO2)



La localisation à un rôle certain dans cette exposition au polluant, en effet les habitants situés près du Parc naturel régional des volcans d'Auvergne sont moins touchés à 5,6% tandis que ceux habitant dans les milieux urbains sont à 84,5% en zone supérieure que ce que préconise l'OMS.

Pénétration des particules dans l'organisme

(Plus les particules sont petites, plus elles sont dangereuses).



L'image est très explicite sur l'inhalation des différentes particules passant des grosses particules les PM10 qui touche les voies respiratoires au particules fines PM2,5 ou encore le NO2 qui impact les voies respiratoires inférieures.⁶ Dans notre étude nous nous concentrons sur les grosses et les particules fines.

Les particules fines notamment les PM2,5 sont suffisamment petites pour s'infiltrer dans les poumons jusqu'au plus profond des alvéoles et même traverser les masques en papier. Elles pénètrent profondément les poumons et l'arbre bronchique.⁷

Ainsi les personnes les plus touchées sont les femmes enceintes, les personnes âgées, les malades souffrant de pathologies cardiovasculaire ou respiratoire de diabète ou d'obésité ainsi que les enfants et les nourrissons.

Notamment une étude, réalisée la Brigham Young University et de l'University of Utah, montrent un lien entre la pollution de l'air et la fréquence des infections pulmonaires chez l'enfant.

En effet sur 150 000 patients, les nouveau-nés et les enfants âgés de moins de 2 ans représentent 77 % des patients vus en consultation pour une infection respiratoire, après un pic de pollution aux microparticules.

Ce qui démontre que la pollution de l'air et le rejet de polluants dû à l'activité anthropique ont bel et bien un effet néfaste sur la santé humaine. Ainsi nous pouvons nous demander comment réduire les GES pour améliorer la qualité de l'air de Clermont Auvergne Métropole ?

⁶ [Pollution aux microparticules et bronchiolite | PARENTS.fr](#)

⁷ [Particules fines : quel danger pour la santé ? \(futura-sciences.com\)](#)

Sommaire :

Première partie : Diagnostic du territoire

Deuxième partie : Structure modèle

Troisième partie : Simulation

Quatrième partie : Conclusion

Cinquième partie : Annexe

Sixième partie : Sources

Première partie : Diagnostic du territoire énergétique

Dans cette première partie nous allons étudier le territoire de Clermont Auvergne Métropole, à savoir sa composition, son fonctionnement, sa consommation dans le secteur de l'énergie, sa qualité de l'air.

Dans un premier temps nous allons présenter une étude du territoire par ses différentes caractéristiques ainsi que les actions menées jusqu'à présent pour améliorer la qualité de l'air ainsi que la réduction de la consommation des énergies.

Dans un deuxième temps nous aborderons ses forces, faiblesses, menaces et opportunités par le modèle d'une matrice SWOT suivi du constat que ce dernier nous permet d'établir.

Dans une seconde partie nous allons établir des comparaisons avec une seconde ville de la région Auvergne Rhône-Alpes c'est-à-dire la Métropole Grenobloise ce qui nous amènera à déterminer des potentiels leviers d'actions.

Dans une première phase nous allons comparer Clermont Auvergne Métropole à Grenoble Métropole ce qui permettra d'établir des comparaisons entre les différentes sources d'énergie utilisées ainsi que les différents acteurs la consommant via une représentation graphique d'un diagramme de Sankey.

Puis dans une seconde phase nous allons établir des comparaisons sur les potentiels leviers d'action établis par les collectivités territoriales pour réduire la consommation des énergies ce qui entraînera une amélioration de la qualité de l'air.

I) Etude du territoire de Clermont Auvergne Métropole

1) Etude du territoire



Le territoire Clermont Auvergne métropole s'étend sur une superficie de : 300,62 km². Bordé à l'ouest de la chaîne des puys et à l'est de la plaine de Limagne, l'occupation du sol est majoritairement des zones artificialisées à 33% et de prairies à 27%.⁸

Disposant en son sein d'un Grand site de France qu'est le volcan du Puy-de-Dôme

La population est de 290 000 personnes. Composée de 35 000 étudiants ainsi que de 3000 chercheurs public et privé. Il y a sur le

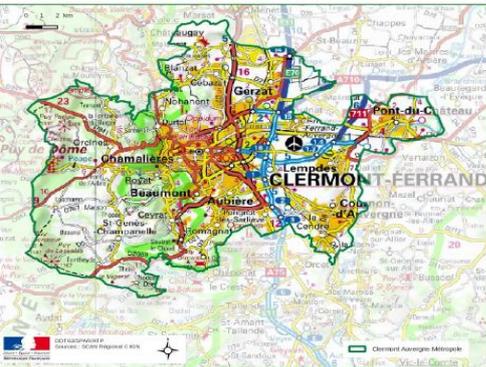
territoire 156 000 emplois avec notamment 14 000 entreprises implantées. La plus connue étant Michelin leader mondial du pneumatique qui est également le premier employeur de la région Auvergne Rhône-Alpes.

Les principales zones d'emplois dans le territoire est sur l'axe de centralité Est de Clermont- Ferrand qui dispose de 99 953 emplois mais les villes voisines comme Couron ; Aubière ; Gerzat –Cébazat dispose au minimum de 9 500 emplois.



⁸ Portrait de territoires Clermont Auvergne Métropole par la Direction département des puys de dôme en 2021.

Par ailleurs, La métropole clermontoise connaît actuellement une croissance démographique de l'ordre de 0,5 % par an, ce qui la place en 2ème position parmi les 4 métropoles de la région AURA. Ce qui a des conséquences sur l'emploi, l'aménagement du territoire, la pollution atmosphérique, le dynamisme du territoire.



Le territoire est agencé avec un aéroport qui dessert une trentaine de destinations, 6 en France, 17 vers l'Europe, 2 vers l'Amérique et 2 vers l'Afrique en passant la plupart du temps par une escale sur les aéroports parisiens. Il se classe parmi les 30 premiers aéroports français.

Une autoroute qui traverse la métropole du nord au sud, d'un système ferroviaire disposant de 4 lignes disposant d'une liaison TET (Trains d'équilibre du territoire) relie Clermont-Ferrand à Paris. Une liaison directe TER et bus relie Clermont-Ferrand à Lyon mais aussi aux principales villes alentour telles que Riom, Issoire, Brioude, les Martres-De-Veyre etc.... De plus, Le réseau de bus Transdôme compte 31 lignes régulières desservant 171 communes et 400 arrêts

Par ailleurs, ce territoire d'infrastructures culturelles importantes telles que Le Zénith et la Grande Halle d'Auvergne, d'une salle de concert conventionnée Musiques Actuelles et d'une scène nationale.

L'évènement du festival international du court métrage qui se déroule tous les ans à Clermont-Ferrand participe activement à son rayonnement culturel même au-delà des frontières nationales.

Cette étude du territoire nous démontre que la métropole est dynamique et rayonne par l'offre culturelle qu'elle propose, l'emploi et la facilité d'accès pour rejoindre le territoire que ce soit par la qualité de ses routes et des systèmes de bus, train, avion sans compter le tramway qui concentre plus de la moitié de la fréquentation (17 millions sur 33 millions de voyages annuels). Ce qui amène à un grand mélange de population traversant le territoire.

Pour protéger ce territoire Clermont Auvergne Métropole a mis en place en 2021 un schéma de la transition énergétique et écologique qui a pour principales missions répondre aux enjeux sanitaires en améliorant la qualité de l'air et lutter contre les pollutions pour améliorer la qualité de l'air. 9

De plus, concernant la qualité de l'air, la métropole va vers la mise en place de zones à faible émission (ZFE) dès 2022. En effet la métropole clermontoise fait partie des 15 territoires identifiés par l'Union Européenne pour sa mauvaise qualité de l'air.

La métropole clermontoise a cependant réagi dans le domaine de l'énergie et de la pollution de l'air en établissant trois enjeux¹⁰ :

- Améliorer la qualité de vie des habitants en réduisant les pollutions et les nuisances,
- Développer l'attractivité du territoire en diminuant sa facture énergétique,

⁹ [PAECT.pdf \(clermontmetropole.eu\)](https://www.clermontmetropole.eu/PAECT.pdf)

- Combattre la précarité énergétique en aidant les ménages à réaliser des économies d'énergie.

2) Présentation du SWOT :

<p>Forces :</p> <ul style="list-style-type: none"> - Faible pollution provenant du secteur agricole. - Mise en place d'un réseau de chaleur - Croissance du nombre d'action des politiques publiques dans le secteur de l'énergie par l'adoption d'un plan Air Énergie Climat Territoriale et de la qualité de l'air - Création du Club air Énergie Climat qui permet de fédérer l'ensemble des acteurs du territoire sur les questions d'Énergie et du Climat. 	<p>Faiblesse :</p> <ul style="list-style-type: none"> - La disposition du territoire (montagne, chaîne des puy). - Croissance de la pop (GES résidentielle) ; forte pop universitaire (transport et résidentiel). - 93% énergie fossile consommée - Importation importante des énergies - Création d'îlot de chaleur dû au réchauffement climatique
<p>Opportunités :</p> <ul style="list-style-type: none"> - Patrimoine et services : Faire de Clermont Auvergne Métropole une collectivité exemplaire en termes d'efficacité et de sobriété énergétique - Habitat : Renforcer la dimension énergétique de la politique de l'habitat - Mobilité : Améliorer la qualité de l'air - Économie : Réduire la dépendance énergétique du territoire pour accroître son attractivité et sa compétitivité - Adapter le territoire au changement climatique - Gouvernance : Diffuser une culture de maîtrise de l'énergie et de la lutte contre le changement climatique 	<p>Menaces :</p> <ul style="list-style-type: none"> - Non acceptation des usagers de ce changement énergétique. - Les finances – les fonds Comparaison avec des villes meilleures. - Refus des restrictions de circulation pour les véhicules pollueur dans le cadre des vignette air ZFE - Blocage des politiques publiques - Difficultés de l'indépendance énergétique

A partir de ce SWOT nous pouvons constater que Clermont Auvergne Métropole dispose de peu de force aux vues des faibles et des menaces potentielles ; Cependant la marge des opportunités est élevé ce qui permettra d'effectuer une simulation à échelle de 2030 et de 2050 intéressantes en usant de levier d'action permettant d'améliorer de réduire les Gaz à effet de Serre et d'améliorer la qualité de l'air.

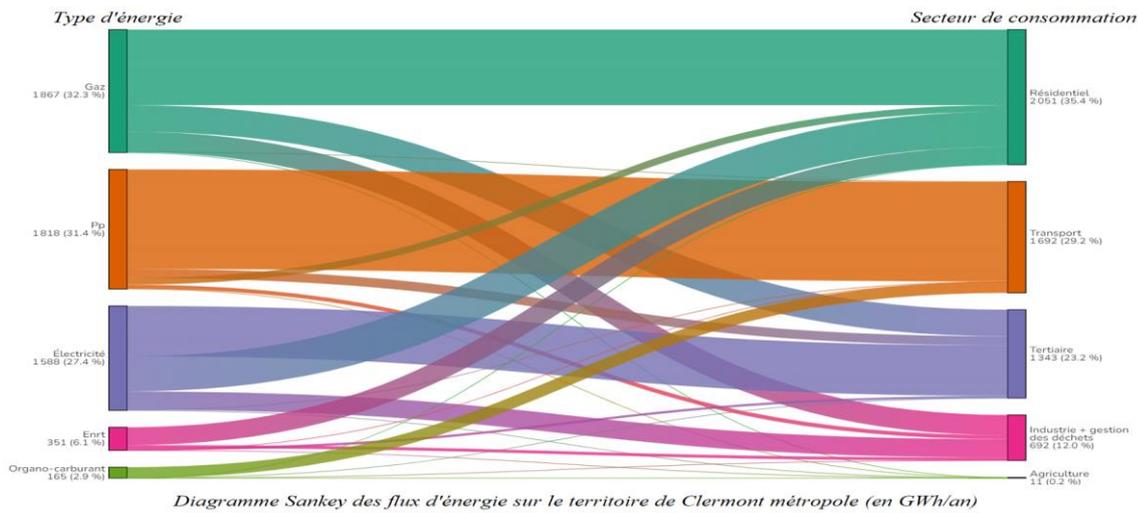
En effet malgré les différents plans d'action adoptés au cours de ces dernières années comme le Plan Air Énergie Climat Territoriale adopté en 2014 ; nous constatons par le SWOT que la

métropole Clermontoise à encore des actions à mener pour la rendre moins énergivore et améliorer la qualité de son air sur le long terme. 11

Ces différents leviers d’actions potentiels seront abordés dans la deuxième partie avec la comparaison avec la Métropole de Grenoble qui est plus avancée sur ces questions ainsi que les simulations à l’horizon 2030 et 2050.

II) Comparaison avec la métropole de Grenoble et principaux leviers d'actions

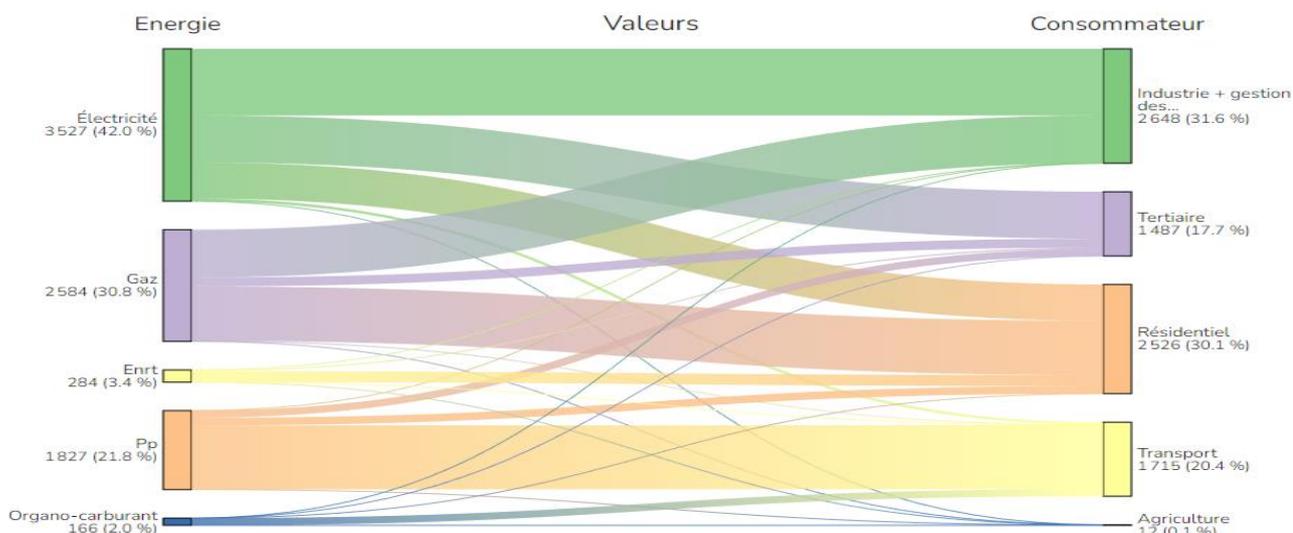
1) Comparaison avec Grenoble Métropole par le diagramme de Sankeys



Le diagramme de Sankey ci-dessus permet d’avoir une appréhension visuelle des différents types d’énergie utilisée par Clermont Auvergne métropole dont les principales sources sont le Gaz à 32,3%, les Produit Pétrolier à 31,4 % et l’électricité 27,4 %.

Cette énergie est utilisée en majorité par les trois grands groupes que sont les résidents à 35,4 % le transport à 29,2 % et le secteur tertiaire à 23,2%.

¹¹ [Clermont Auvergne Métropole-Un Plan Air Energie Climat territorial \(clermontmetropole.eu\)](http://clermontmetropole.eu)



Ce diagramme de Sankey établi pour la métropole de Grenoble nous renseigne sur la consommation en énergie, les trois principales sources sont l'électricité à 42%, le Gaz à 30,8% suivie des produits pétroliers à hauteur de 21,8%

Ces trois énergies sont principalement consommées par l'industrie, le secteur du tertiaire ainsi que la population résidentielle.

Lorsque nous comparons ces deux diagrammes nous pouvons établir le fait que la métropole clermontoise et la métropole grenobloise n'ont pas la même principale source d'énergie ; pour Clermont la principale étant le gaz à 32,3 % souvent plus polluant tandis que pour Grenoble c'est électricité qui prime avec 42% d'électricité fournie.

De plus, la métropole de Grenoble consomme moins d'énergie venant des produits pétroliers 21,8% contre 31,4% pour la métropole de Clermont- Ferrand.

Ces différences de production d'énergie nous amènent à réfléchir à quels sont les principaux leviers d'action pour améliorer la qualité de l'air de la métropole clermontoise ce qui sera amené dans la deuxième partie ci-dessous.

2) Les potentiels leviers d'actions

Les diagrammes de Sankey ci-dessus nous ont ouvert à la réflexion de potentiels leviers d'actions pour la métropole clermontoise en commençant par réduire l'utilisation des produits pétroliers en créant plus de transport électrique et en misant dans les prochaines années sur les énergies renouvelables.

De plus, une réduction de la consommation du gaz souvent plus polluant que l'électricité notamment l'électricité verte est un potentiel levier d'action pour améliorer la qualité de l'air.

De plus la grande différence entre les deux métropoles n'est pas forcément l'énergie en lui-même qui le consomme, ainsi presque tous les secteurs consomme moins au sein de la métropole grenobloise comparé à celle de Clermont-Ferrand. Les comparaisons des consommateurs d'énergie est effectué dans le tableau ci-dessous :

Secteur consommateur d'énergie	Clermont-Ferrand	Grenoble	Différence
Résidentiel	35,4 %	30,1 %	5,3%
Tertiaire	23,2%	17,7%	5,5%
Transport	29,8%	20,4%	9,4%
Industrie	12%	31,6%	-19,6

Ce tableau démontre que la métropole de Grenoble à moins de secteur qui consomme de l'énergie hors l'industrie, ce qui est d'autant plus étonnant d'autant que le secteur industriel est considéré comme l'un des plus pollueurs.

Selon ATMO le département du Puy De Dôme avec une population de 8 % au sein de la région Auvergne Rhône Alpes a eu 4 jours de dépassement en 2021 notamment dû à la poussières désertiques tandis que la région d'Isère avec une population de 16% de la région Auvergne Rhône Alpes comptabilise 17 jours de dépassement dû à 65% aux particules fines.¹²

Exposition des populations à des dépassements des valeurs recommandées par l'OMS pour les trois polluants principaux qui sont PM2,5 O3 et le NO2.

	Clermont Auvergne Métropole	Grenobles Alpes métropole
PM2,5	291 900	445 000
O3	0	47 700
NO2	225 900	417 500

Il faut faire attention et mettre ses résultats sur une même échelle, la population pour Clermont-Auvergne Métropole étant de 289 817 milles habitants tandis que la population pour Grenoble Alpes métropole est de 433 000 habitants.¹³

¹² [PUY DE DOME.pdf \(atmo-auvergnerhonealpes.fr\)](http://PUY DE DOME.pdf (atmo-auvergnerhonealpes.fr))

¹³ [ISERE.pdf \(atmo-auvergnerhonealpes.fr\)](http://ISERE.pdf (atmo-auvergnerhonealpes.fr))

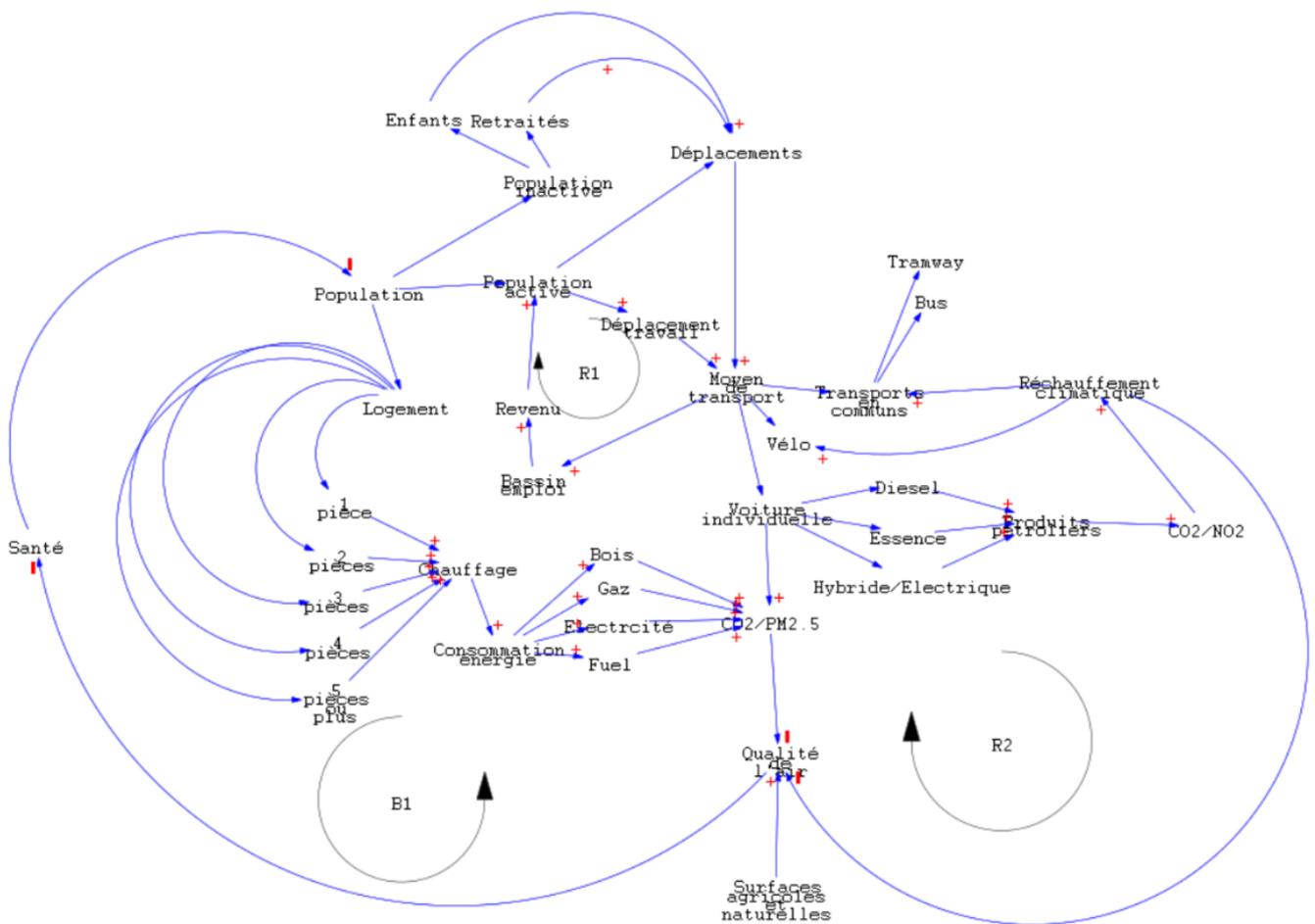
Deuxième partie : Structure Modèle

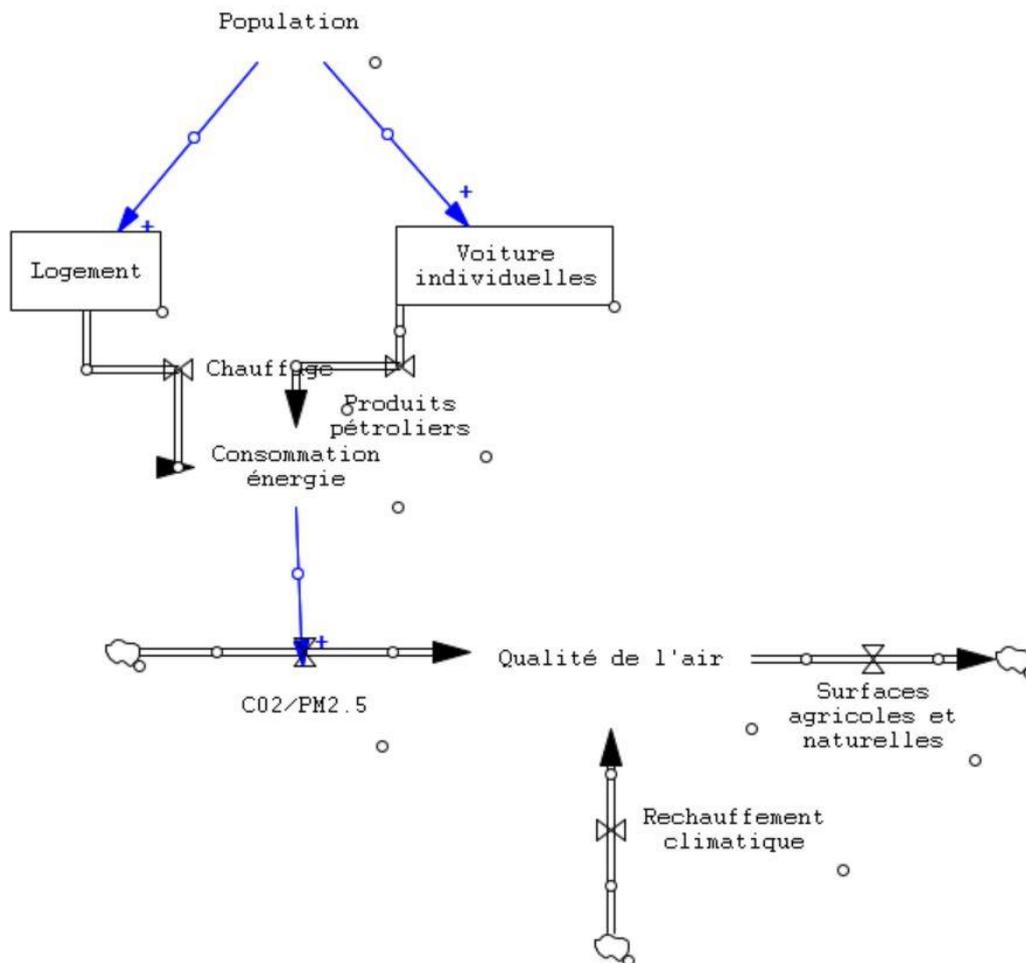
Dans cette seconde partie nous allons aborder dans un premier temps la structure du modèle systémique de la qualité de l'air avec un modèle suivi des différents flux et stocks qui nous aidera dans une seconde partie à décrire en détail le modèle.

1) La qualité de l'air en modèle

Pour établir ce modèle nous nous posons diverses questions notamment sur les logements et leurs impacts sur les divers bassins d'emplois et leurs accessibilités sur le nombre de voiture en circulation dans le département ainsi que les énergies nécessaires, sur l'impact du développement des transport en commun sur la qualité de l'air etc...

Ces questionnements nous ont amené à concevoir ce modèle par le logiciel Vensim puis à nous positionner sur les stocks et les flux émis par les variables de ses différentes boucles





Description du modèle :

Notre modèle part de la variable population car la consommation d'énergie et l'impact sur la qualité de l'air est très révélatrice c'est pour cela que nous avons décidé de nous concentrer sur cette variable.

A partir de la population nous distinguons la population active qui utilise des moyens de transport notamment pour se diriger vers le bassin d'emploi pour avoir du revenu ce qui renvoie à une boucle de renforcement car plus le bassin d'emploi est imposant plus il attirera cette population active à se déplacer. La population peut être aussi inactive ce sont les enfants, les personnes âgées qui se déplacent également mais plus souvent via le transport en commun ou par la mobilité douce.

Nous avons décidé que la variable moyen de transport serait l'un de nos points leviers dans notre modèle c'est pour cela que nous avons décidé de regarder plus précisément la répartition des moyens de transport sur la population de la métropole Clermontoise mais également sur la population française en générale. Cela nous aidera lors de la simulation de projection dans la troisième partie.

Nous nous sommes ensuite penchés plus en détail sur la voiture individuelle, notamment le type de motorisation. En effet, ce sont les voitures individuelles qui occupent une part

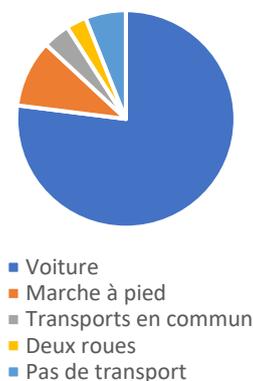
importante dans la dégradation de la qualité de l'air. Ainsi, nous avons distingué une certaine consommation en produits pétroliers qui influe sur le niveau de CO2/NO2 émis dans l'atmosphère.

En plus de la question des moyens de transports, nous avons décidés de nous pencher sur la question du logement qui est un second émetteur important au sein d'une métropole. Les habitants devant nécessairement se loger, le logement est responsable d'une grosse dépense énergétique, notamment en ce qui concerne le chauffage du logement. Ainsi, nous avons distingué différents types de chauffage (Bois, gaz, électricité...). Selon le mode de chauffage dont dispose le logement, les impacts sur la qualité de l'air sont différents, le chauffage au bois par exemple rejette beaucoup de CO2/PM2.5 bien que le bois soit considéré comme une source d'énergie renouvelable.

On retrouve donc deux sources de pollution dans notre modèle qui vont venir altérer la qualité de l'air, et ainsi la santé de notre population métropolitaine. Il s'agit du CO2/PM2.5 et CO2/NO2.

Le document Excel explicitant toutes les variables du modèle avec différentes caractéristiques à savoir si elle sont qualitative ou quantitative, si elle sont des drivers, si elle sont des flux ou bien des stock, la dépendance qu'elle peuvent avoir et si elles sont endogènes, exogènes ou si ce sont des paramètres (Annexe 1)

Metropole Clermontoise

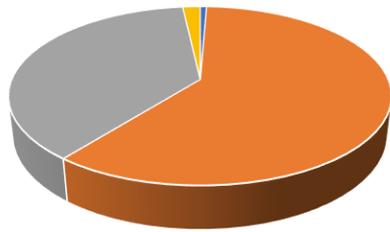


France



Mode de transport	Métropole Clermontoise	France	Différence
Voiture	77%	70%	+7%
Marche à pied	10%	8%	+2%
Transport en commun	4%	14%	-10%
Deux roues	3%	4%	-1%
Pas de transport	6%	4%	+2%

Ce tableau qui nous a servi pour effectuer les diagrammes ci-dessus nous montre que la métropole Clermontoise à une marge de progrès notamment dans la variable transport en commun ainsi que les zones sans transport ou elle plus faible comparé à la variable nationale. De plus 75% des déplacements en voiture individuelle sont effectués pour des trajets inférieurs à 5 km. (Annexe 2)



- Electrique
- Diesel
- Essence
- Ethanol et autres Bio-Carburants

L'utilisation de la voiture individuelle nous amène à nous questionner sur les ressources en énergies qu'elle requiert comme nous le démontre ce diagramme que la ressource en énergie des voitures sur le bassin de la métropole Clermontoise est principalement en diesel suivie de l'essence, éthanol ainsi que l'électricité qui reste marginale. (Annexe 3)

Ce qui sera pour notre étude une variable importante notamment dans la partie simulation, car l'utilisation des énergies fossiles rejette du CO2 ainsi que du N02 ce qui accélère le réchauffement climatique au

contraire les transports en commun ont tendance à diminuer l'impact sur le climat notamment grâce au projet inspire qui prévoit de mettre tous les bus sur des lignes électriques pour diminuer la consommation en produits pétroliers.

Ainsi se dessine une seconde boucle de renforcement car par la variable levier que sont les moyens de transport les transports en commun ainsi que l'utilisation de la voiture individuelle auront un impact sur le réchauffement climatique qui lui-même touchera la qualité de l'air ainsi si l'on diminue l'impact sur le réchauffement climatique on améliorera de ce fait la qualité de l'air.

Toute population a besoin de se loger c'est pour cela que nous le modélisons par le logement dans notre modèle ; le besoin de m2 peut être différents selon la population ainsi que la zone géographique, ce qui nous amène à considérer les logements de 1 pièces à 5 et plus.

Toutefois, les m2 doivent être chauffés ce qui demande donc une consommation en énergies de différentes sources que sont le bois, électricité, le fioul, le gaz qui font rejeter plusieurs particules comme le PM2.5 ainsi que le CO2. Cela va avoir un impact négatif pour la qualité de l'air qui va endommager la santé de la population est donc réduire à termes la population via les différentes maladies qu'une mauvaise qualité de l'air engendre, ce qui nous amène à faire une boucle d'équilibre négatif.

Troisième partie : Simulation

Dans le cadre de notre simulation, nous avons été contraints de l'abandonner par manque de temps et manque de données et manque de compétences afin de pouvoir faire une simulation qui reflète une certaine réalité et qui soit de qualité.

Cependant, nous avons établi des projections non-modélisées sur un futur probable en matière de qualité de l'air à l'échelle de la métropole clermontoise.

Tout d'abord, un levier important de notre modèle concerne le logement, les politiques doivent donc engager une réelle politique de rénovation des bâtis et des modes de chauffage afin de réduire l'impact de ceux-ci sur la qualité de l'air.

Un second levier est celui des véhicules individuels, notamment dans le cadre des déplacements liés au travail qui représente une part très importante des déplacements totaux.

Il convient dans ce cas précis d'engager des politiques qui visent à favoriser les modes de déplacements doux et les transports en communs en réduisant la place de la voiture au sein de la métropole, pourquoi pas voir la création d'une sorte de RER métropolitain qui permettrait de faire des liaisons régulières avec des villes comme Aubière, Cournon d'Auvergne, Pont du Château, Riom etc. afin de désengorger les axes principaux et de limiter les pollutions.

La transition énergétique va prendre une part importante dans l'amélioration de la qualité de l'air en promouvant l'utilisation d'une électricité décarbonée et propre qui permettrait de remplacer à terme les utilisations d'énergies fossiles par exemple.

Il faudrait néanmoins essayer d'augmenter le nombre de puits de carbone sur le territoire de la métropole, en essayant par exemple de renaturaliser des friches industrielles, cela permettrait également de lutter contre les épisodes de forte chaleur.

Il existe différents leviers qui peuvent avoir un impact réel sur la qualité de l'air au sein de la métropole avec pour objectif de rendre Clermont Métropole comme étant en accord avec la nature qui l'entoure et que les habitants bénéficient d'un air de qualité en ville.

Quatrième partie : Conclusion

Le territoire Clermont Auvergne Métropole est composé d'une topographie particulière avec cette chaîne de volcan qui attire les touristes qui par leurs venues engendre de la pollution mais aussi par son passé très industriel avec notamment Michelin qui a doté de cette ville d'un capital économique fort.

Ce territoire a certain point fort notamment dû à des politiques territoriales engagées comme la mise en place d'un réseau de chaleur, qui entraîne une meilleure efficacité énergétique et donc à termes permet de diminuer la pollution et donc augmenter la qualité de l'air.

La consommation d'énergie sur le territoire est principalement dû à deux secteurs le résidentiel et le tertiaires, la consommation d'énergie qui provient de différentes sources sont plus ou moins polluant, nous notons une forte consommation d'électricité, de gaz et de produits pétroliers.

Ces énergies on l'espère dans le futur, seront plus vertes avec notamment les énergies renouvelables qui seront plus développées et favorisées par les politiques publiques qui peuvent engendrer un changement dans la consommation de la population.

Des changements aussi de pensée concernant l'utilisation des moyens de transport ou nous avons pu constater que la population active se déplace principalement en voiture.

Nous espérons que les incitations des politiques publiques telles que la gratuité des transport le week-end, l'augmentation des pistes cyclables agira sur les consciences de la population ce qui à termes augmentera vivement la qualité de l'air.

Car les rejets des polluant atmosphérique de l'utilisation des voitures qui renvoi au carburant provoque une hausse des particules fines comme le PM_{2,5} mais aussi NO₂ et le O₃.

Pour conclure à travers cette étude nous nous apercevons que la qualité de l'air est vitale pour l'humain, une détérioration de cette qualité de l'air renvoi à une détérioration de la santé. L'enjeu sanitaire est très important mais cette conscience de réduction de la pollution et la connaissance des effets sont assez récent mais très voyant ce qui fait espérer une prise de conscience des populations qui est l'un des principaux leviers pour changer le système dans lesquelles nous nous trouvons.

Ces changements de pensées ne peuvent se faire seul, il est donc important que les politiques publiques qui ont conscience de ses enjeux, accompagnent les populations à travers des actions forte comme les bus électriques, les pistes cyclables mais également par une forte pédagogie envers les populations qui peuvent être sceptiques.

Ainsi, nous pouvons espérer un changement à horizon 2030 et plus encore en 2050 dans la consommation des énergies et dans l'amélioration de la qualité de l'air.

Annexes

Annexe 1 : Tableau des variables utilisée dans le modèle Vensim :

NOM	Quantitative/Qualitative	Driver/V	Flux/Stock	Dépend de	Endogène/Ex
Population	Quantitative	OUI/CO2/PM	Stock	Santé	Paramètre
Population Active	Quantitative	OUI / Déplac	Stock	Population	Exogène
Population Inactive	Quantitative		Stock	Population	Exogène
Enfants	Quantitative		Stock	Population in	Exogène
Retraités	Quantitative		Stock	Popultion ina	Exogène
Déplacements	Quantitative		Flux	Population	Endogène
Déplacements travail	Quantitative		Flux	Population ac	Endogène
Bassin Emploi	Quantitative	OUI / Revenu	Stock		Paramètre
Revenu	Quantitative		Flux	Bassin emplo	Exogène
Moyens transports	Qualitative		Stock		Endogène
Transports en communs	Quantitative		Stock	Moyen de tra	Endogène
Bus	Quantitative		Stock	Transports er	Exogène
Tramway	Quantitative		Stock	Transports er	Exogène
Vélo	Quantitative		Stock	Moyen de tra	Exogène
Voiture individuelle	Quantitative	OUI / Produit	Stock	Moyen de tra	Endogène
Diesel	Quantitative	OUI / Produit	Stock	Voiture indivi	Exogène
Essence	Quantitative	OUI / Produit	Stock	Voiture indivi	Exogène
Hybride/Electrique	Quantitative		Stock	Voiture indivi	Exogène
Produits Pétroliers	Quantitative		Stock	Voiture indivi	Endogène
CO2/NO2	Quantitative	OUI / Réchau	Stock	Voiture indivi	Endogène
Réchauffement climatique	Qualitative		Flux	CO2/NO2	Endogène
Logement	Quantitative	OUI / Chauffé	Stock	Population	Exogène
1 pièce	Quantitative		Stock		Exogène
2 pièces	Quantitative		Stock		Exogène
3 pièces	Quantitative		Stock		Exogène
4 pièces	Quantitative		Stock		Exogène
5 pièces ou plus	Quantitative		Stock		Exogène
Chauffage	Qualitative	OUI / Conson	Stock	Logement	Endogène
Consommation energie	Quantitative	OUI / CO2/PM	Stock	Chauffage	Endogène
Bois	Quantitative		Flux	Chauffage	Exogène
Gaz	Quantitative		Flux	Chauffage	Exogène
Electricité	Quantitative		Flux	Chauffage	Exogène
Fuel	Quantitative		Flux	Chauffage	Exogène
CO2/PM2.5	Quantitative	OUI / Qualité	Flux	Chauffage	Endogène
Surfaces agricoles naturelle	Quantitative	OUI / Qualité	Stock		Paramètre
Qualité de l'air	Quantitative	OUI / Santé	Flux	CO2/PM2.5	Endogène
Santé	Quantitative	OUI / Populat	Flux	Qualité de l'a	Endogène

Annexe 2 : tableau sur la population ainsi que leurs modes de transport

Catégorie de population	Total	Actifs et étudiants qui travaillent ou qui étudie	Hors-Commune	Mode de transport	Metropole Clermontoise	France
hommes	297300		180600	Voiture	77%	70%
femmes	253600		144600	Marche à pied	10%	8%
de 15 à 24 ans	53300		32100	Transports en commun	4%	14%
de 25 à 49 ans	357000		218700	Deux roues	3%	4%
de 50 à 79 ans	140600		74400	Pas de transport	6%	4%
Élèves ou étudiants	262900		108800			

Annexe 3 : Tableau de la consommation des énergies des voitures

Type de fonctionnement voiture	Pourcentage
Electrique	0,64%
Diesel	60%
Essence	37,60%
Ethanol et autres Bio-Carburants	1,76%