



BILAN GAZ A EFFET DE SERRE (GES) : METHODOLOGIE ET CALCUL D'INDICATEURS APPLIQUES A UNE COLLECTIVITE TERRITORIALE, LE CAS DE CLERMONT AUVERGNE METROPOLE

Gabin MOLINA, Victor DEPALLE, Ayoub JAOUHAR, Arnaud DIEMER

Revue Francophone du Développement Durable

2022 – n°19 – Mars

Pages 105 - 144

ISSN 2269-1464

Article disponible en ligne à l'adresse :

<https://erasme.uca.fr/publications/revue-francophone-du-developpement-durable/>

Pour citer cet article

Molina G., Depall V., Jaouhar A., Diemer A. (2022), Bilan Gaz à Effet de Serre (GES) : méthodologie et calcul d'indicateurs appliqués à une collectivité territoriale, le cas de Clermont Auvergne Métropole, *Revue Francophone du Développement Durable*, n°19, mars, p. 105 – 144.

Bilan Gaz à Effet de Serre (GES): méthodologie et calcul d'indicateurs appliqués à une collectivité territoriale, le cas de Clermont Auvergne Métropole

Gabin MOLINA, Victor DEPALLE, Ayoub JAOUHAR, Arnaud DIEMER

*Université Clermont Auvergne, Polytech Clermont, INP Clermont, HVL
CERDI, ERASME, OPCD, Postgrowth Institute*

Résumé : L'article 75 de la loi n° 2010-788 du 12 juillet 2010 portant engagement national pour l'environnement (ENE) a posé le principe d'une généralisation des bilans d'émissions de gaz à effet de serre (Bilans GES) pour les collectivités de plus de 50 000 habitants. Ce Bilan GES réglementaire doit être mis à jour tous les 3 ans via une plateforme informatique administrée par l'ADEME. Pour les collectivités, cet outil fait désormais parti d'une stratégie TEPOS (Territoires à Energie POSitive) qui vise à atténuer et s'adapter au changement climatique. Le bilan GES pose les bases d'une comptabilité environnementale adaptée aux secteurs d'activité et aux besoins de la population. Il repose sur une méthodologie issue des modèles ARIMA et s'inscrit dans une démarche prospective, celle qui consiste à scénariser les trajectoires que les grandes métropoles vont devoir emprunter pour être en conformité avec les engagements des COP et la réglementation.

Mots clés : budget carbone, Clermont Auvergne Métropole, modèle ARIMA, sobriété énergétique

En l'espace de trois décennies, le réchauffement climatique est devenu un enjeu primordial pour le XXIème siècle. A la suite des différents rapports du GIEC (2022, 1995), il est aujourd'hui admis que nos activités économiques sont à l'origine des émissions de gaz à effet de serre (GES). L'anthropocène - évoquée par Paul Josef Cruzen (2007, 2022) - correspond à cette nouvelle époque géologique qui se caractérise par l'avènement des hommes comme principale force de changement sur Terre, surpassant de loin les forces géophysiques (Gemenne, Denis, 2019) : « On peut à juste titre désigner par le terme Anthropocène l'époque géologique actuelle, dominée de diverses manières par l'Homme, qui succède à l'Holocène - la période chaude des dix-douze derniers millénaires » (Cruzen, 2007, p. 141). Les désordres générés par les effets de l'activité humaine ont des conséquences multiples et systémiques (Ndiaye, Diemer, Gladkykh, 2018) : sécurité alimentaire, accès aux ressources en eau, migrations climatiques, précarité énergétique.

Afin de faire face au réchauffement climatique, les différents Etats se sont engagés dans le cadre des COP (Accord de Paris) à réduire leurs émissions de GES. A ce titre, la réglementation est devenu un outil privilégié pour atteindre cet objectif. En France, l'article 75 de la loi Grenelle II indique que toutes les personnes morales de droit privé de plus de 500 salariés en France métropolitaine et de 250 salariés dans les régions et départements d'outre-mer, ainsi que les personnes morales de droit public de plus de 250 salariés et les collectivités de plus de 50 000 habitants sont assujetties à l'obligation

de réalisation d'un bilan d'émissions de gaz à effet de serre (BEGES). La Loi sur la Transition Énergétique pour la Croissance Verte (LTECV) du 17 août 2015¹ précise que toutes les collectivités de plus de 50 000 habitants sont dans l'obligation de mettre à jour leur BEGES tous les trois ans. Cette obligation permet de retracer l'historique des émissions des gaz à effet de serre, en les rapportant à la même unité, la kilotonne équivalent CO₂. De plus, elle facilite les projections faites par les différents organismes (ADEME, Negawatts, ...), en observant quels seront les enjeux de demain (Bessalem, Diemer, Batisse, 2022) mais également, en déterminant les tendances de consommations, au fil des années². Concrètement, le bilan GES consiste à calculer l'empreinte carbone d'une collectivité en prenant en compte les scopes 1 et 2, c'est à dire les émissions directes de GES et les émissions indirectes associées à l'énergie. Le scope 3 qui comprend toutes les autres émissions indirectes, est vivement recommandée par l'ADEME. La méthodologie dite du bilan carbone – qui nous intéresse ici – consiste à prendre en compte les trois scopes d'émissions. L'objectif de cet article est d'analyser la méthodologie et les indicateurs du bilan carbone développés par l'ADEME de manière à cerner les obligations pour les collectivités territoriales. Nous serons ainsi amenés à calculer un bilan carbone pour Clermont Auvergne Métropole (CAM), puis à comparer ce bilan à celui d'autres agglomérations françaises afin de cerner les grandes tendances en matière de stratégies d'atténuation et d'adaptation au changement climatique.

Méthodologie de calcul des indicateurs d'un bilan carbone

Un bilan carbone est un indicateur, ce dernier est obtenu à l'aide d'une méthodologie générale bien précise qui se décompose en 5 étapes distinctes : (1) Le choix des indicateurs ; (2) La collecte des données ; (3) Production et analyse des indicateurs ; (4) La validation et (5) La mise à jour des indicateurs.

Le choix des indicateurs est directement basé sur les besoins des territoires. Les indicateurs sont validés par un comité de pilotage en vue de répondre à ces besoins. Il existe deux types d'indicateurs :

- Les indicateurs répondant directement aux exigences réglementaires comme par exemple l'émission de gaz à effet de serre, l'absorption annuelle de carbone sur le territoire, les consommations et productions d'énergie, les concentrations de polluants, les expositions des populations et bien d'autres encore.

¹ L'article 75 de la loi n° 2010-788 du 12 juillet 2010 portant engagement national pour l'environnement (ENE) a posé le principe d'une généralisation des bilans d'émissions de gaz à effet de serre (Bilans GES) pour environ 5000 acteurs publics et privés (Les entreprises de plus de 500 salariés (250 dans les DOM), les collectivités de plus de 50 000 habitants, les établissements publics de plus de 250 agents, les services de l'État.).

² Le Bilan GES réglementaire est public et mis à jour tous les 4 ans pour les Personnes Morales de droit privé, et tous les 3 ans pour l'État, les collectivités territoriales et les autres Personnes Morales de droit public. Le bilan doit être transmis par voie électronique via une plate-forme informatique (L-). Cette plate-forme est mise en place et administrée par l'ADEME (Agence française de la transition écologique).

- Les indicateurs répondant aux besoins des utilisateurs et aux attentes climatiques comme des indicateurs de suivi de changement climatique en fonction des régions et des évolutions.

La collecte des données est la partie la plus importante car elle impacte directement la qualité des indicateurs et leur production. Il va donc falloir choisir des sources spécialisées et de qualités comme les sources de données publiques (INSEE, statistiques publiques...) ou des productions spécialisées.

La production et l'analyse des indicateurs, ces derniers sont obtenus à l'aide des mesures et des observations physiques quand cela est possible mais aussi de données calculées ou modélisées. Les données physiques réelles permettent de développer et d'améliorer les modèles et les prévisions. En ce qui concerne les analyses plus fines visant à couvrir l'ensemble du territoire des modélisations sont possibles à partir de données statistiques réelles disponibles publiquement.

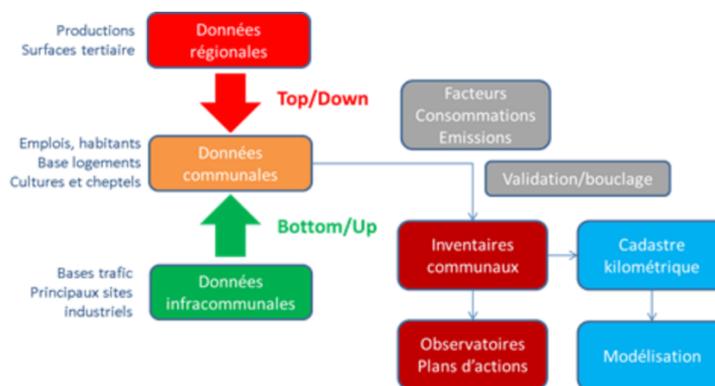
La validation - cette étape est cruciale car elle garantit la qualité de l'indicateur et sa fiabilité - doit être garantie tout au long du processus pour que l'indicateur puisse être cohérent et utilisable.

Enfin la mise à jour de l'indicateur, cela donne une cohérence dans l'évolution des données publiées. Les profils territoriaux sont actualisés tous les ans avec recalcul et traitement des nouvelles données pour avoir une cohérence des indicateurs en fonction du temps.

Méthodologie de calcul des indicateurs d'émission de GES

Les territoires engagés dans une démarche Plan Climat Air Energie Territorial (PCAET) ont besoin de réaliser un diagnostic de leurs émissions territoriales de gaz à effet de serre par secteur d'activité, par vecteur énergétique et par usage. Un historique sur les différentes années permettra de comparer les résultats aux objectifs à atteindre.

Figure 1 : Schéma conceptuel d'élaboration d'un inventaire des émissions



Source : ORCAE (2022)

Les émissions d'un territoire sont de deux sortes, énergétique (issues de la combustion) et non énergétique (issues de l'industrie, des déchets...). La méthode utilisée pour réaliser un indicateur de qualité est le "bottom/up" qui permet d'utiliser les données d'activités et d'émissions les plus fines disponibles à l'échelle infra-communale. Ces données sont par la suite agrégées à l'échelle communale pour le calcul global des émissions. Si les données ne sont pas disponibles sur un territoire, il suffit de prendre les données régionales et communales connues que l'on utilisera en fonction des données du territoire ciblé pour le calcul de ses indicateurs.

La prévision des émissions repose sur l'usage d'un modèle, le modèle ARIMA. Le modèle ARIMA (AutoRegressive Integrated Moving Average) est un modèle d'analyse statistique qui utilise des données de séries chronologiques pour mieux comprendre l'ensemble de données ou pour prédire les tendances futures (Newbold, 1983). Un modèle statistique est autorégressif s'il prédit des valeurs futures basées sur des valeurs passées (Ho, Xie, 1998). Par exemple, un modèle ARIMA peut chercher à prédire les prix futurs d'une action en fonction de ses performances passées ou à prévoir les bénéfices d'une entreprise en fonction de périodes passées (Fattah & ali, 2018). En réalité, derrière le modèle ARIMA, se cache une association de plusieurs processus (AR - MA - ARMA - ARIMA).

Le processus AR signifie *autorégressif*. Concrètement, si l'on considère un processus stationnaire X_t , on considère qu'il est autorégressif d'ordre p si l'on peut **expliquer sa valeur à l'instant T en utilisant ses p termes précédents**. Mathématiquement, cela signifie que :

$$\forall t : X_t = \sum_1^p \alpha_i X_{t-i} + \varepsilon_t$$

avec ε l'erreur et $(\alpha_1, \dots, \alpha_p)$ des réels

Le processus MA signifie '*moving average*' (*moyenne mobile*). Soit X_t une série temporelle, on considère que c'est un processus MA d'ordre p si on peut exprimer sa valeur à l'instant t comme une combinaison linéaire d'erreur aléatoires (bruit blanc). Mathématiquement on traduit cela par :

$$\forall t : X_t = \varepsilon_t + \sum_1^p \alpha_i \varepsilon_{t-i}$$

avec ε l'erreur et $(\alpha_1, \dots, \alpha_p)$ des réels

Le processus ARMA est une combinaison d'un processus AR et d'un processus MA. Cela permet de modéliser des séries temporelles plus complexes. Un modèle ARMA d'ordre (p,q) s'écrit donc sous la forme :

$$\forall t : X_t = \sum_1^p \alpha_i X_{t-i} + \varepsilon_t + \sum_1^q \beta_i \varepsilon_{t-i}$$

Avec $(\alpha_1, \dots, \alpha_p)$ et $(\beta_1, \dots, \beta_q)$ des réels.

Cependant, l'une des limitations de ce modèle est qu'il ne peut modéliser que des séries temporelles stationnaires. Ainsi, il n'est pas possible de modéliser une série temporelle avec une tendance linéaire croissante. C'est pour pallier ce problème que le modèle ARIMA a été développé

Dans le modèle ARIMA, le I signifie 'integrated' pour intégration. En différenciant les séries temporelles, il est possible de retirer les tendances qu'elles présentent pour les stationnariser. Prenons l'exemple d'une série temporelle avec une tendance linéaire de la forme :

$$X_t = \alpha + \beta t + \varepsilon_t$$

$$X_t - X_{t-1} = \beta + \varepsilon_t - \varepsilon_{t-1}$$

Ainsi en différenciant la série une fois, la dépendance temporelle linéaire est éliminée et la différence est stationnaire. De la même façon, une tendance quadratique peut être éliminée en différenciant la série deux fois. Une fois la série stationnarisée, il est alors possible d'appliquer le modèle ARMA. Le modèle ARIMA est donc une combinaison de ce processus de différenciation et du processus ARMA classique. Notons que si la série temporelle présente à la fois une tendance et une saisonnalité, il est possible d'utiliser le modèle **SARIMA** qui est un modèle ARIMA prenant aussi en compte une composante saisonnière.

Dans notre étude, il s'agira de définir pour chaque secteur, des années que l'on dit "d'apprentissage" permettant d'avoir une base solide afin de prévoir le futur. Par exemple, cette méthode a été utilisée en 2018 avec les données réelles de 2010 à 2017.

Ce modèle inclut les secteurs suivants :

- Transports (aérien, fluvial, ferroviaire)
- Biogénique
- Agricultures (énergétique, non énergétique)
- Tertiaire
- Industrie

Une fois ce modèle implémenté, son utilisation permet de pouvoir acquérir des données sur les émissions de dioxyde de carbone en maintenant une cohérence avec

l'historique. Dans un contexte de données indisponibles, cette méthode reste une bonne alternative.

Les indicateurs et les inventaires sont soumis à certaines exigences afin qu'ils soient utilisables et cohérents.

- *Exhaustivité des sources* : toutes les sources d'émissions doivent être quantifiées. La SNAP (Selected Nomenclature for Air Pollution) liste toutes les activités existantes émettrices de dioxyde de carbone dans l'atmosphère. (Il en existe environ 400).
- *La comparabilité entre les territoires* : toutes les données et les sources doivent être cohérentes selon les différents territoires afin de permettre la bonne comparaison des émissions de gaz à effet de serre.
- *La cohérence temporelle* : lorsque la méthodologie évolue, l'historique des années antérieures est recalculé afin de conserver une cohérence globale entre les années.
- *La traçabilité* : toutes les sources de données utilisées doivent être tracées et documentées.
- *La validation (ou bouclage)* : tous les résultats doivent faire l'objet d'examens afin d'être validés pour pouvoir pallier d'éventuelles erreurs de calculs ou de raisonnement.
- *Le respect de la confidentialité* : les données utilisées pour les différentes modélisations étant confidentielles, toutes les données diffusées doivent respecter des règles du secret statistique.

Il existe également un certain nombre de critères d'assurances et de contrôle qualité sur les inventaires d'émissions de gaz à effet de serre qui doivent être appliqués à l'échelle régionale afin de respecter une certaine qualité des données récoltées.

- Les régions doivent tenir un catalogue avec les sources de données afin de renforcer la traçabilité entre les bases de données.
- Les facteurs d'émissions doivent être 'sourcés' et exprimés en unité native afin de faciliter leur mise à jour.
- Tous les calculs doivent être tracés et datés afin d'assurer une cohérence des ordres de traitement.
- Une veille réglementaire doit être formalisée.
- La tenue d'un plan d'amélioration est obligatoire afin d'exposer les axes de progrès et de planifier leur mise en œuvre.
- Un renforcement des procédures de validation sectorielle avec, une comparaison systématique avec les versions antérieures, une vérification de la

cohérence temporelle, une validation en fonction de plusieurs échelles territoriales.

- L'assurance qualité avec une validation croisée des bilans d'émission de gaz à effet de serre par d'autres acteurs afin d'avoir un regard extérieur sur les données produites.

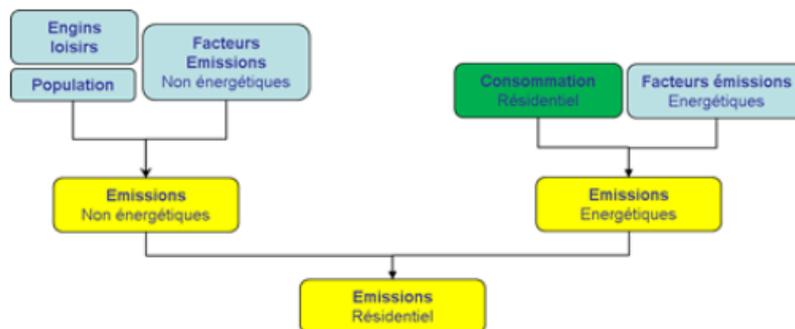
Modélisation sectorielle des émissions

La modélisation des émissions énergétiques est réalisée grâce au bilan des consommations finales d'énergie mais aussi des consommations de combustibles des réseaux de chaleur et des unités d'incinération des ordures ménagères. Les émissions non énergétiques sont associées à des facteurs d'émissions nationales prévues pour la quantification. Le détail du processus de modélisation des différents secteurs afin d'obtenir les indicateurs d'émission de gaz à effet de serre peut être présentée de la manière suivante (ADEME, 2022).

Le secteur résidentiel

Il comprend les émissions énergétiques liées aux logements, aux engins de loisirs à moteur thermique. Il comprend également les émissions non énergétiques telles que les feux de jardin et brûlage de câble, l'utilisation de solvants et de produits pharmaceutiques.

Figure 2 : Schéma simplifié de calcul des émissions du secteur résidentiel



Source : ORCAE (2022)

Toutes les données énergétiques et non énergétiques sont multipliées par des facteurs d'émissions disponibles grâce aux banques de données.

Le tertiaire

Le secteur tertiaire comprend quant à lui bien plus de paramètres énergétiques qui sont appelés les "huit branches" définies par le CEREN (CGEDD, 2014, Turki & al., 2002) et qui décrivent les besoins en eau chaude sanitaire, chauffage, cuisson et usages spécifiques de l'électricité. Les huit branches énergétiques sont : les bureaux, les cafés

hôtels et restaurants, commerces, enseignement, la santé, l’habitat communautaire, les sports culture et loisirs, les transports en communs et logistiques. On discerne ces huit branches des branches consommatrices d’électricité tels que : l’éclairage public, les consommations des immeubles, les entrepôts frigorifiques, les centres de recherche, les locaux de défense nationale, les télécommunications, le secteur de l’eau, l’édition, les data centers, les stations de ski.

Figure 3 : Schéma simplifié de calcul des émissions du secteur tertiaire

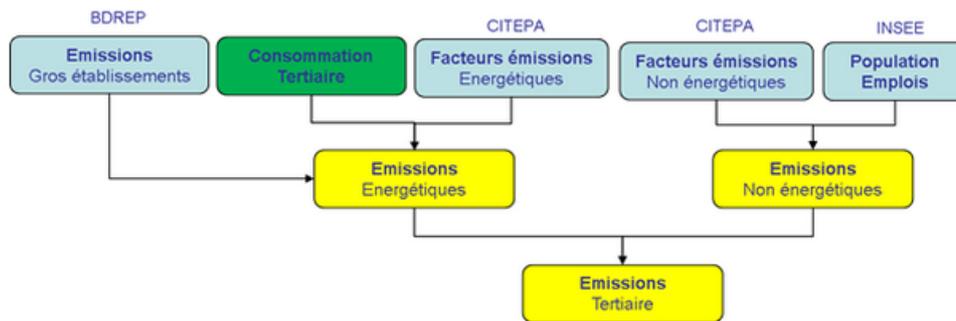


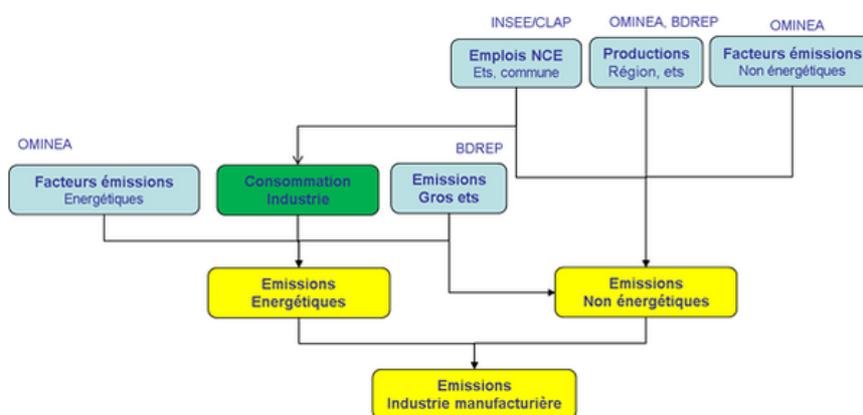
Schéma simplifié de calcul des émissions du secteur tertiaire

Source : ORCAE (2022)

L'industrie manufacturière

L'industrie manufacturière avec des activités très variées comprend les émissions énergétiques générales de consommations mais surtout beaucoup d'émissions non énergétiques telles que : les peintures, les solvants et leur utilisation, la fabrication de produits chimiques, les différents procédés liés aux industries (sidérurgique, chimique, métallurgique...), les procédés de décarbonations productrice de CO2 (chaux, ciment, verre) et enfin les bombes aérosols.

Figure 4 : Schéma simplifié de calcul des émissions du secteur de l'industrie

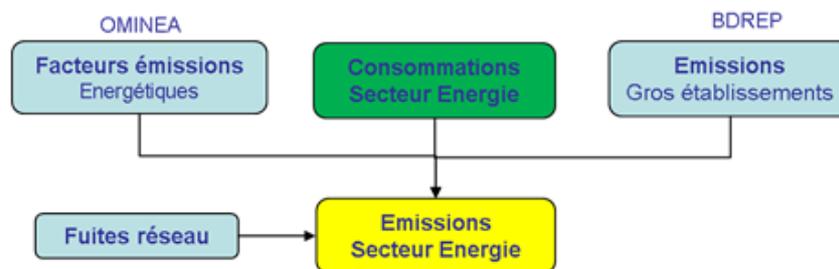


Source : ORCAE (2022)

Transformation d'énergie

Ce secteur comprend les émissions énergétiques liées à leur utilisation et les émissions non énergétiques telles que : les fuites des réseaux de gaz et les procédés de l'industrie pétrolière.

Figure 5 : Schéma simplifié de calcul des émissions du secteur de l'énergie

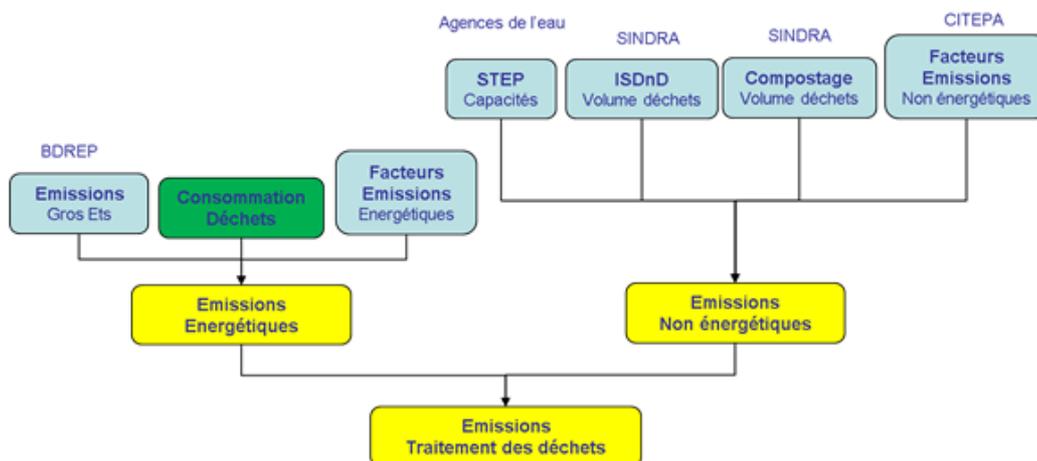


Source : ORCAE (2022)

Traitement des déchets

Le secteur du traitement des déchets comprend les émissions énergétiques générales mais aussi les émissions non énergétiques suivantes : incinération des déchets, les décharges de déchets solides, le traitement des eaux usées, la production de compost et biogaz.

Figure 6 : Schéma simplifié de calcul des émissions du secteur des déchets



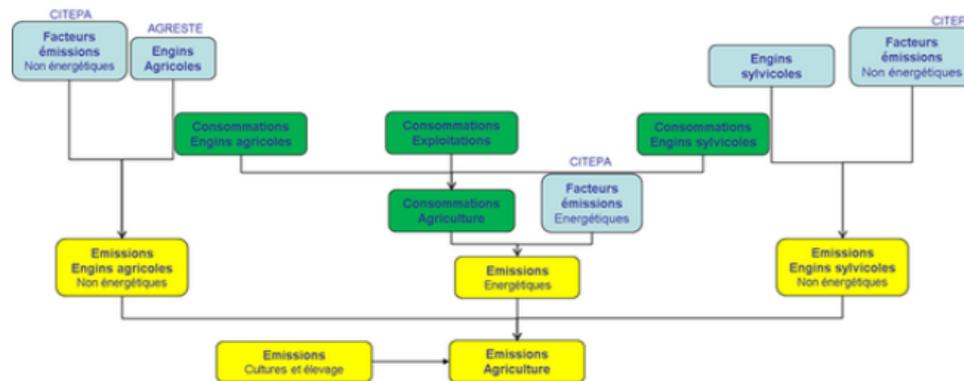
Source : ORCAE (2022)

Agriculture

Ce secteur comprend les émissions énergétiques liées aux bâtiments, aux serres, aux engins agricoles et sylvicoles.

Les émissions non énergétiques sont les fermentations entériques, les composés organiques et azotés issus des déjections animales, les cultures avec engrais, les feux de déchets agricoles et écobuage et enfin l'utilisation de pesticides et de calcaire.

Figure 7 : Schéma simplifié de calcul des émissions du secteur agricole et sylvicole



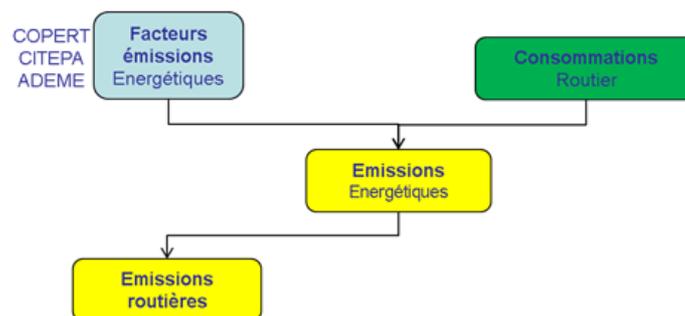
Source : ORCAE (2022)

Transports routiers

Le secteur du transport routier comporte tous les véhicules qui circulent sur les réseaux routiers publics (voitures, voitures utilitaires légers, les poids-lourds, les bus urbains, les autocars et les deux roues). Un autre paramètre est le trafic, ce dernier est estimé grâce au trafic moyen journalier annuel sur les voies publiques.

On intègre donc les émissions énergétiques des échappements, il n’y a aucune émission non énergétique dans ce secteur.

Figure 8 : Schéma simplifié de calcul des émissions du transport routier

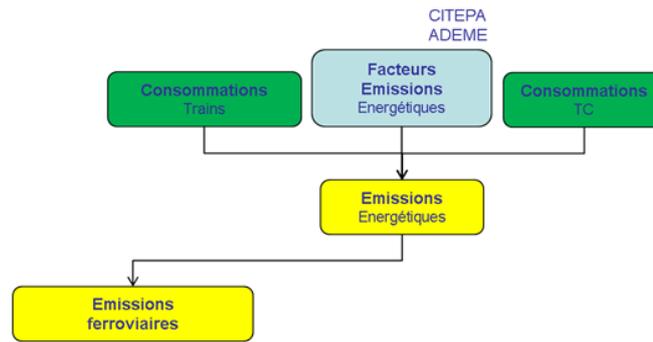


Source : ORCAE (2022)

Les autres transports

* **Le transport ferroviaire** inclut la circulation des trains sur voies ferrées et les transports en communs sur rails (métro, tramway et funiculaire). Ce secteur prend en compte les émissions énergétiques des émissions des trains à tractions thermique et il n’y a également aucune émission non énergétique dans le secteur ferroviaire.

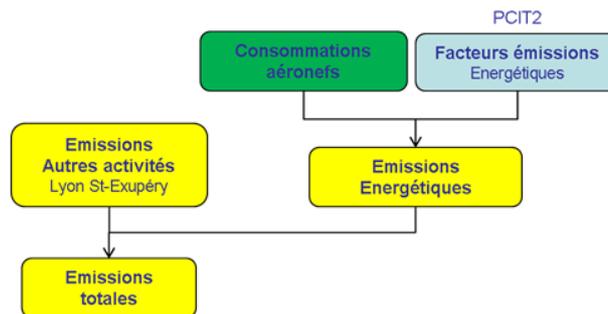
Figure 9 : Schéma simplifié de calcul des émissions du transport ferroviaire



Source : ORCAE (2022)

* Le transport aérien prend en compte les gros pôles où se concentrent la majorité des appareils et des vols, les petits aérodromes sont considérés comme négligeables car les données sont difficilement collectées. Ce secteur comprend les émissions énergétiques des aéronefs et des engins de piste ainsi que les auxiliaires thermiques.

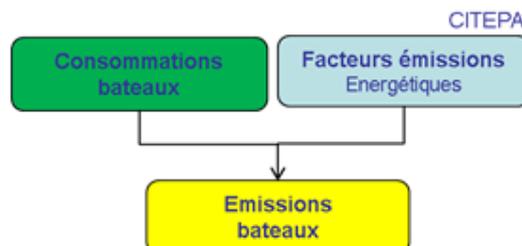
Figure 10 : Schéma simplifié de calcul des émissions du transport aérien



Source : ORCAE (2022)

* Le transport fluvial comprend les émissions énergétiques du trafic de marchandises sur les principaux axes et également le trafic de passagers et bateaux de plaisance les axes dédiés.

Figure 11 : Schéma simplifié de calcul des émissions du transport fluvial



Source : ORCAE (2022)

Absorption du carbone

Après avoir vu l'ensemble des secteurs émettant du gaz à effet de serre, il est important d'inclure l'absorption du carbone. Effectivement, il est difficile aujourd'hui de connaître exactement la capacité d'absorption du CO₂ des territoires. Il existe un partenariat entre Clermont métropole et l'école des Mines de Saint Etienne pour estimer l'absorption de carbone pour l'ensemble des communes d'Auvergne-Rhône-Alpes. L'absorption du carbone d'un territoire se fait grâce à sa biomasse, dans les sols ou dans les airs, mais aussi dans les océans. Ici nous n'allons pas inclure le captage du CO₂ des océans, on concentrera donc notre étude sur les sols et les forêts. La séquestration du carbone doit aussi prendre en compte l'évolution de l'utilisation des sols. Il va donc falloir en fonction des années estimer les terres utilisées pour l'agriculture, pour l'urbanisation ou l'industrialisation mais aussi estimer les forêts.

Tout ceci est regroupé et estimé en trois grands aspects :

- Les stocks de carbone dans les cultures, les prairies, forêts, vignobles et les vergers
- Les flux annuels d'absorption de carbones par les prairies et forêts
- Les flux annuels d'absorption ou d'émission de carbone suite aux changements d'usage des sols

Il est important de noter le rapport de conversion du carbone en dioxyde carbone est de 3.67 (1 tonne de carbone = 3.67 tonnes de CO₂).

Les stocks de carbone par type de végétation

Il est important sur un territoire donné de déterminer l'ensemble des surfaces en hectares de chaque catégorie de végétation et ainsi estimer la quantité de carbone stocké. On applique ensuite notre rapport de conversion et on estime ainsi nos valeurs en tCO₂/ha.

Tableau 1 : Stock de carbone en fonction du type de végétation

| TYPE DE SURFACE | CODES CLC CORRESPONDANTS | RATIO UTILISÉ (TCO ₂ /HA) |
|-----------------|--------------------------|--------------------------------------|
| Cultures | 241 - 242 - 243 | 188 |
| Prairies | 231 - 321 | 298 |
| Forêts | 311 - 312 - 313 | 285 |
| Vignobles | 221 | 126 |
| Vergers | 222 - 223 | 173 |

Le code CLC signifie que nous utilisons les données de CORINE Land Cover (CLC) qui est un inventaire biophysique de l'occupation des sols et de son évolution selon une nomenclature en 44 postes (Ministère du Développement Durable, 2018).

Les flux annuels d'absorption de carbone

Cet indicateur va nous permettre d'évaluer le CO2 stockable annuellement par les forêts et prairies. Il est également important au préalable d'évaluer l'accroissement annuel des forêts (troncs, branches et racines). Cependant, dans les forêts, il est difficile de classer et dénombrer les différents types de végétaux. C'est pourquoi on va établir une masse moyenne de bois par m³, soit 700 kg/m³. La capacité du bois à absorber le CO2 par tonne a été estimée par l'Observatoire de la Forêt Méditerranéenne.

Tableau 2 : Absorption du CO2

| DÉPARTEMENT | ACCROISSEMENT ANNUEL | ACCROISSEMENT ANNUEL | ABSORPTION DE CARBONE | ABSORPTION DE CO ₂ |
|---|-------------------------|----------------------|-----------------------|-------------------------------|
| | (m ³ /ha/an) | (t/ha/an) | (t/ha/an) | (t/ha/an) |
| Allier - Cantal - Isère - Loire - Haute-Loire - Puy-de-Dôme - Rhône - Savoie - Haute-Savoie | 6,0 | 4,2 | 2,1 | 7,69 |

Tableau 3 : Stockage de carbone selon les prairies et forêts

| TYPE DE SURFACE | CODE CLC CORRESPONDANT | RATIO UTILISÉ (tCO ₂ /HA/AN) |
|-----------------|------------------------|---|
| Prairies | 231 - 321 | 1,83 |
| Forêts | 311 - 312 - 313 | Ain : 12,37 Ardèche et Drôme : 9,22 Autres départements : 11,06 |

Les flux annuels d'absorption ou d'émission de carbone suite aux changements d'usage des sols

Cet indicateur va permettre d'évaluer les émissions et absorptions de carbone dues aux modifications des surfaces végétales. La base de données CORINE Land Cover quantifie ces changements de surfaces. On définit le signe "+" pour l'absorption et le "-" pour l'émission.

Tableau 4 : Flux annuels d'absorption ou d'émission de carbone

| DE (LIGNE) À (COLONNE) | CULTURES / VIGNOBLES / VERGERS | PRAIRIES | FORÊTS | SOLS IMPERMÉABLES |
|--------------------------------|--------------------------------|-------------------------------|-------------------------------|--------------------------------|
| Cultures / Vignobles / Vergers | x | +1,8 tCO ₂ /ha/an | +1,61 tCO ₂ /ha/an | -31,67 tCO ₂ /ha/an |
| Prairies | -3,48 tCO ₂ /ha/an | x | +0,37 tCO ₂ /ha/an | -48,33 tCO ₂ /ha/an |
| Forêts | -2,75 tCO ₂ /ha/an | -0,37 tCO ₂ /ha/an | x | -48,33 tCO ₂ /ha/an |

Calcul du bilan carbone de Clermont-Ferrand

Choix du secteur étudié

Le secteur étudié pour réaliser un bilan carbone est essentiel puisqu'il doit représenter au mieux la ville ainsi que tous les échanges qu'elle entretient avec les communes extérieures. C'est pour cela que la zone désignée est Clermont Auvergne Métropole (CAM).

Figure 12 : Vue géographique Clermont Auvergne Métropole

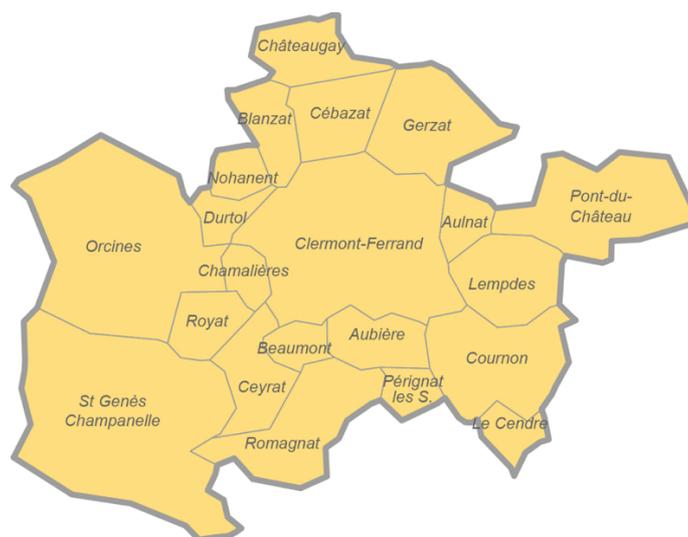


Figure 13 : Démographie des 21 communes de Clermont Auvergne Métropole

| Commune | Population | Superficie | Densité |
|-------------------------|--------------------------|------------------------------|-------------------------------------|
| Clermont-Ferrand | 146 632 | 42.67 | 3 436 |
| Aubière | 10 211 | 7.65 | 1 335 |
| Aulnat | 4 085 | 4.21 | 970 |
| Beaumont | 11 023 | 4.01 | 2 749 |
| Blanzat | 3 804 | 6.96 | 547 |
| Cébazat | 8 711 | 10.02 | 869 |
| Ceyrat | 6 550 | 9.35 | 701 |
| Chamalières | 17 826 | 3.77 | 4 728 |
| Châteaugay | 3 190 | 9.08 | 351 |
| Courmon-d'Auvergne | 20 440 | 18.58 | 1 100 |
| Durtol | 2 062 | 4.01 | 514 |
| Gerzat | 10 453 | 16.28 | 642 |
| Le Cendre | 5 483 | 4.22 | 1 299 |
| Lempdes | 8 832 | 12.30 | 718 |
| Nohanent | 2 261 | 4.20 | 538 |
| Orcines | 3 475 | 42.73 | 81 |
| Pérignat-lès-Sarliève | 2 748 | 3.93 | 699 |
| Pont-du-Château | 11 736 | 21.61 | 543 |
| Romagnat | 7 882 | 16.84 | 468 |
| Royat | 4 777 | 6.62 | 722 |
| Saint-Genès-Champanelle | 3 717 | 51.58 | 72 |
| Total | 295 898 habitants | 300.62 km² | 984 habitants/km² |

Source : INSEE (2019)

Clermont Auvergne Métropole est une métropole auvergnate comprenant 21 communes pour une superficie totale de 300,60 km². Elle comprend 294 127 habitants (en 2018). La densité d'habitants est donc de 984 hab/km². L'intérêt d'élargir la zone, à l'instar du fait de ne prendre que la ville de Clermont-Ferrand, provient des différentes activités économiques et sociales qui se font dans les agglomérations à la périphérie de la ville auvergnate. En effet, il est possible de citer l'aéroport situé à l'extérieur de la ville (à Aulnat), le campus des Cézeaux (à Aubière), le Zénith d'Auvergne (à Cournon d'Auvergne) ainsi que beaucoup d'autres facteurs justifiant la décision de prendre Clermont Auvergne Métropole. L'enseignement y est très présent puisque la métropole forme 35 000 étudiants et comprend 3000 chercheurs publics comme privés. Au total, Clermont Auvergne Métropole est un bassin d'emploi pour 156 000 personnes.

Absorption du carbone à Clermont Auvergne Métropole

Séquestration naturelle annuelle du dioxyde de carbone

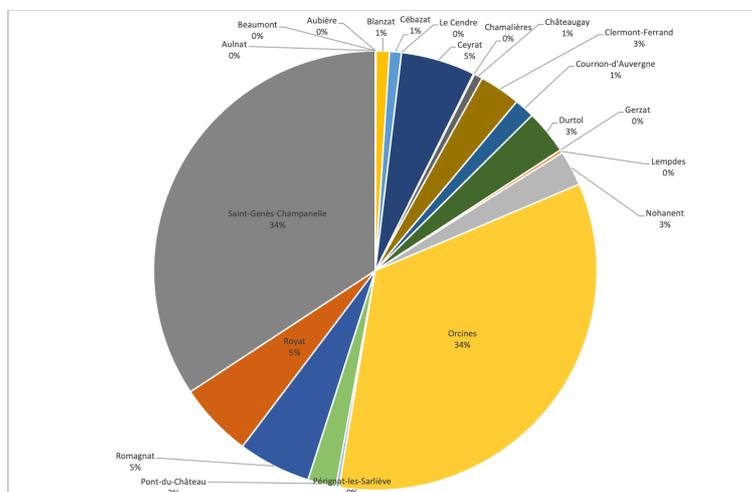
L'absorption annuelle du carbone à Clermont Auvergne Métropole se fait principalement par le biais de forêts et de prairies présentes sur les 21 communes de CAM.

Tableau 5 : Absorption annuelle de carbone selon le type d'occupation (CAM)

| Type d'occupation des sols | Absorption annuelle carbone en kteqCO ₂ /an | surface en km ² | Pourcentage sur l'absorption totale |
|----------------------------|--|----------------------------|-------------------------------------|
| Prairies | 6,45 | 35,23 | 8,25% |
| Fôrets | 71,72 | 64,84 | 91,75% |
| Total | 78,17 | 100,07 | 100,00% |

La séquestration naturelle du dioxyde de carbone se fait majoritairement à travers les forêts auvergnates pour une absorption annuelle en carbone sur la surface de 1,11 kteqCO₂/(an.km²) contrairement aux prairies qui ne sont que de 0,18 kteqCO₂/(an.km²), soit un rapport de 10 entre l'absorption grâce aux forêts sur l'absorption des prairies.

Figure 14 : Part de chaque commune sur l'absorption totale (CAM)



De plus, le graphique suivant montre que deux tiers de l'absorption naturelle annuelle du dioxyde de carbone se fait sur les communes de Saint-Genès-Champanelle et Orcines. Les deux communes représentent 32% de la superficie totale de CAM pour seulement 2,4% de la population laissant place aux importantes surfaces de prairies et de forêts.

Séquestration nette du dioxyde de carbone depuis 2012

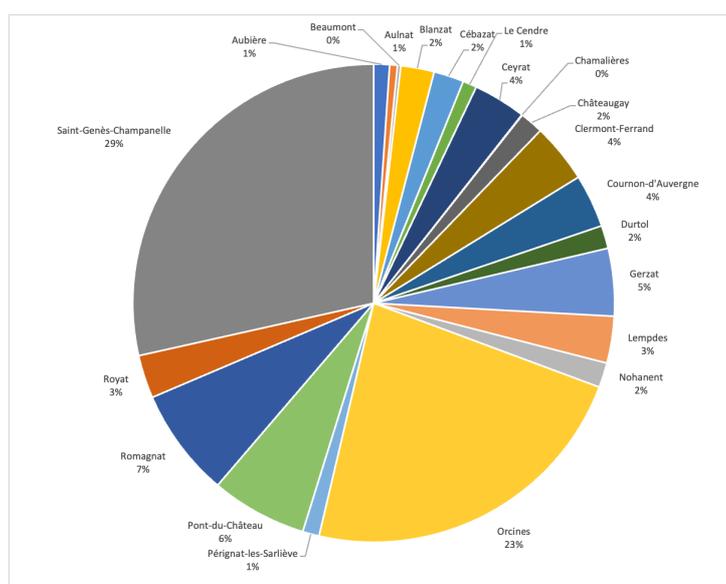
Les données de l'ORCAE permettent de déterminer la séquestration nette de dioxyde de carbone depuis 2012 jusqu'à 2018, par type d'occupation de sols et par superficie totale. Le tableau suivant montre également le pourcentage du stockage d'un type d'occupation des sols sur le stockage net total depuis 2012.

Tableau 6 : Stockage du CO2 selon le type d'occupation (CAM)

| type d'occupation des sols | surface en km2 | stockage en kteqCO2 | Pourcentage sur le stockage net total |
|----------------------------|----------------|---------------------|---------------------------------------|
| cultures | 77,55 | 1457,89 | 33,02% |
| prairies | 35,23 | 1049,75 | 23,78% |
| forets | 64,84 | 1848,02 | 41,86% |
| vignobles | 2,29 | 28,90 | 0,65% |
| vergers | 1,76 | 30,44 | 0,69% |
| Total | 181,67 | 4415,01 | 100,00% |

La séquestration provient donc des forêts, des prairies ainsi que des cultures, principalement situées vers Orcines et Saint-Genès-Champanelle grâce à l'importante surface apportée pour des sols permettant la photosynthèse, géographiquement plus près de la chaîne des puys. Les villes, qui sont à haute densité de population, ont logiquement, des quantités de CO2 stockées bien moins importantes que les deux villes précédemment citées.

Figure 15 : Part de chaque commune sur le stockage total (CAM)

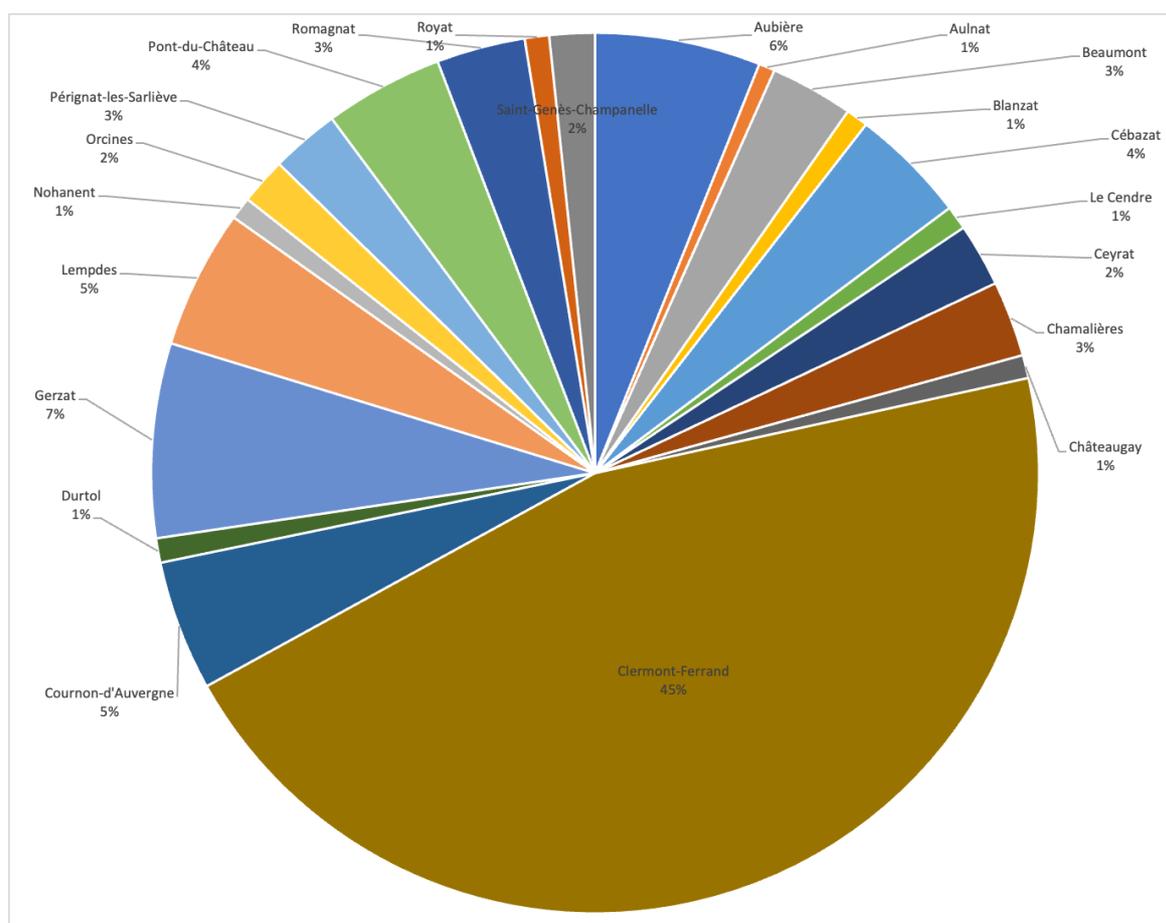


Émissions du secteur transports

Transports routiers

Concernant les émetteurs de gaz à effets de serre, il est primordial de prendre en compte le premier secteur qui émet le plus de dioxyde de carbone en France (33%), le transport routier. Pour cela, les études se sont portées sur tous les types de transport qui peuvent être utilisés ainsi que leur utilisation (routes, autoroutes) et l'énergie nécessaire pour leur fonctionnement.

Figure 16 : Part de chaque commune sur l'émission de GES (transport routier)



Clermont-Ferrand émet donc près de la moitié des émissions de gaz à effet de serre au sein de Clermont Auvergne Métropole, ce qui est compréhensible puisque Clermont-Ferrand abrite la majeure partie de la population ainsi que la plupart des grosses activités économiques de la métropole auvergnate.

Les voitures particulières, ayant pour fonction première le transport humain, sont à l'origine de 60% de la valeur totale d'émissions sur la superficie de CAM et les utilitaires lourds et légers (suivant s'ils dépassent 3,5 tonnes ou non) représentent près de 30% du transport de marchandises, de matériel.

Tableau 7 : Émission de GES selon le type de transport

| Type de transport | Valeur (en kteqCO2) | Pourcentage sur la valeur totale émise |
|------------------------|---------------------|--|
| Motos | 1,62 | 0,4% |
| Utilitaires légers | 85,29 | 18,9% |
| Utilitaires lourds | 96,01 | 21,2% |
| Voitures particulières | 269,39 | 59,6% |
| Total | 452,32 | 100,00% |

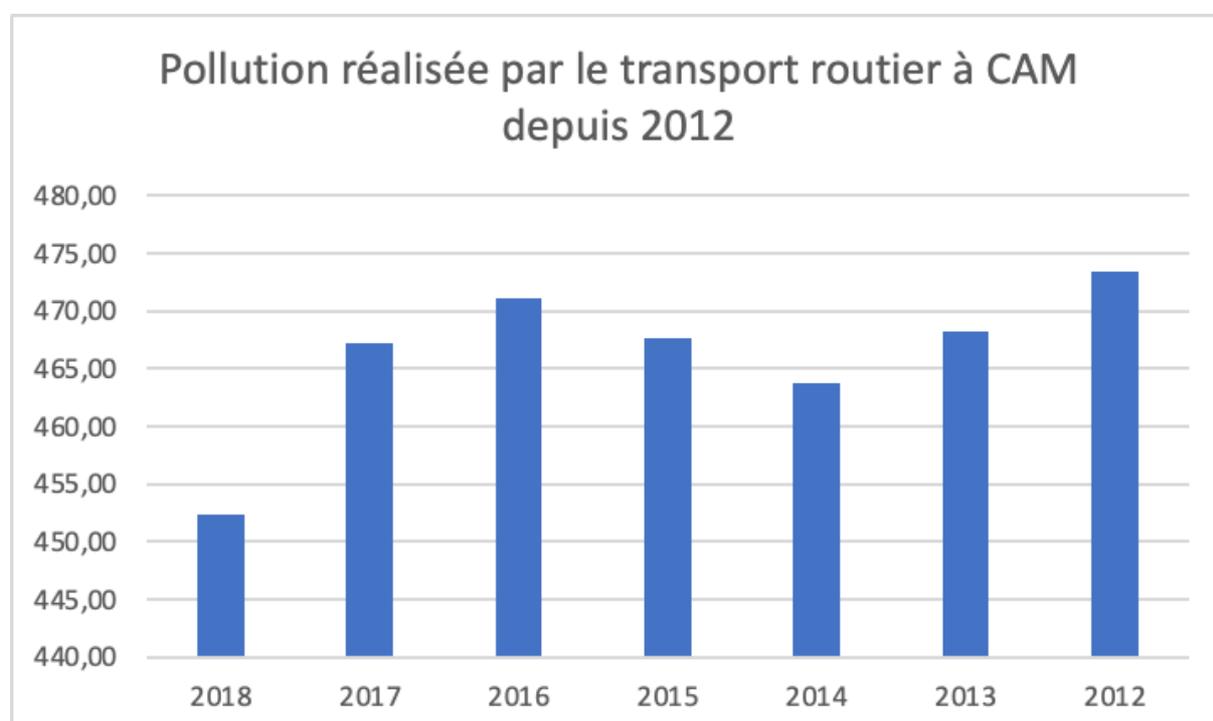
Concernant, l'énergie utilisée est unanimement des produits pétroliers, donc des produits raffinés du pétrole comme l'essence ou le gazole. La cause directe des émissions est donc évidemment l'utilisation des produits pétroliers pour notre transport.

Tableau 8 : Différentes énergies utilisées pour le transport routier

| Énergie utilisée | Valeur (en kteqCO2) | Pourcentage sur la valeur totale émise |
|------------------|---------------------|--|
| PP | 450,79 | 99,66% |
| Electricité | 0,04 | 0,01% |
| Gaz | 1,49 | 0,33% |
| Total | 452,32 | 100,00% |

Cependant, il est important de constater une baisse importante en 2018 comme le montre le graphique ci-dessous, amenant à penser une diminution au fil des années car la pollution émise lors de l'année 2000 était de 490 kteq CO2 et l'année 2005 avait engendré près de 506 kteq CO2 sur le territoire de CAM.

Figure 17 : Pollution réalisée par le transport routier à CAM depuis 2012



Autres transports

Il est également nécessaire de prendre en compte les émissions réalisées par le secteur du transport ferroviaire ainsi que pour le secteur aérien. Le tableau ci-dessous montre la valeur totale de gaz à effet de serre émise par ces deux types de transport ainsi que l'importance du transport aérien dans les émissions.

Tableau 9 : Émission de GES selon les autres transports

| Type de transport | Valeur (en kteqCO2) | Pourcentage sur la valeur totale émise |
|-------------------------|---------------------|--|
| Transports ferroviaires | 2,35 | 18,83% |
| Transport aérien | 10,12 | 81,17% |
| Total | 12,47 | |

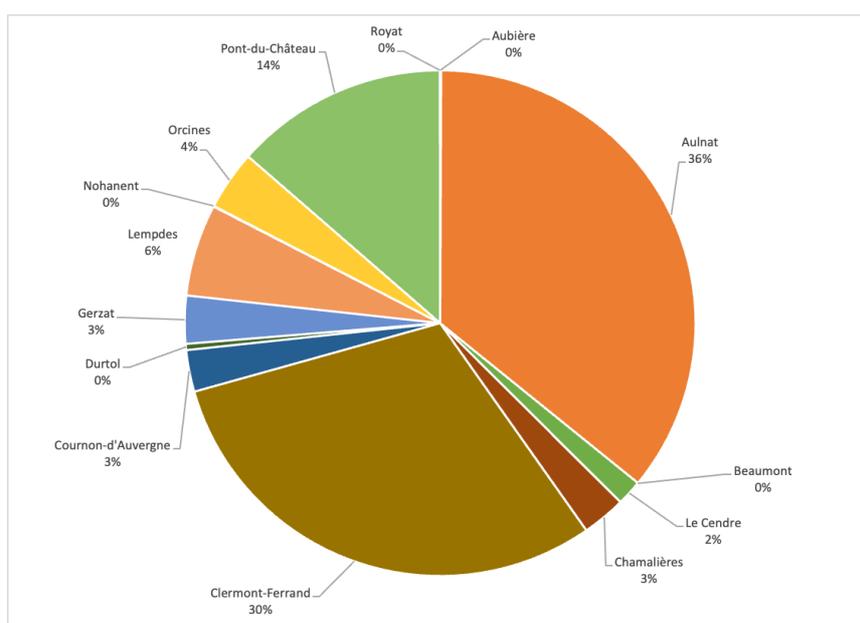
Sur le même principe que pour le transport routier classique, le rôle des produits pétroliers dans les émissions de gaz à effet de serre est primordial. Cela indique donc le lien entre les émissions sur le territoire de la métropole avec l'utilisation de produits pétroliers dans le secteur de l'aviation.

Tableau 10 : Différentes énergies utilisées pour les autres transports

| Énergie utilisée | Valeur (en kteqCO2) | Pourcentage sur la valeur totale émise |
|------------------|---------------------|--|
| PP | 12,44 | 99,81% |
| Electricité | 0,02 | 0,19% |
| Total | 12,47 | |

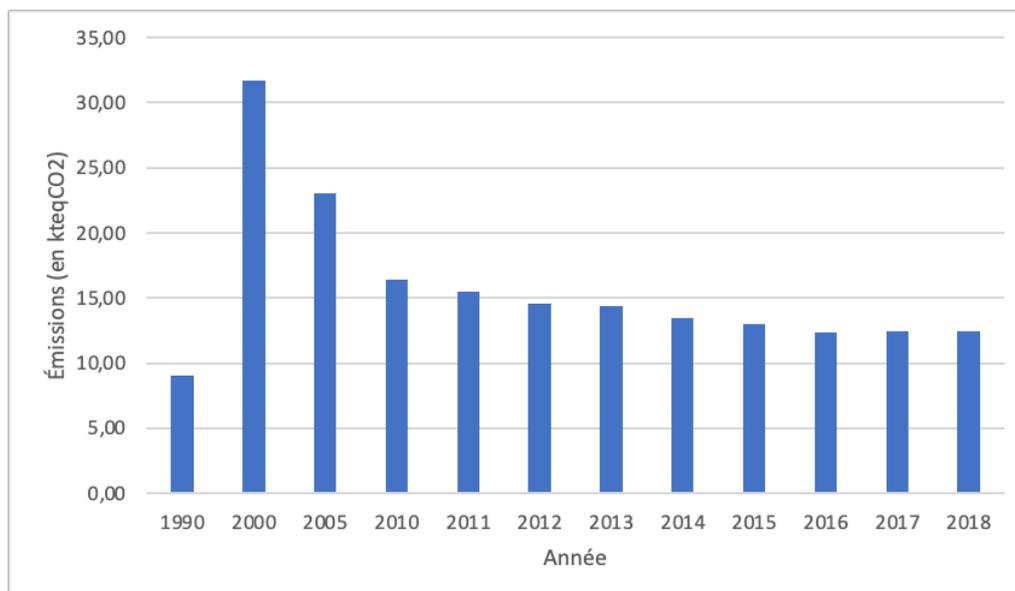
De plus, il est possible de se rendre compte de l'impact du secteur aérien sur le diagramme ci-dessous en montrant qu'Aulnat est la commune qui émet le plus de pollution, principalement du fait de la présence de l'aéroport sur son territoire.

Figure 18 : Part de chaque commune sur l'émission de GES (autres transports)



Cependant, il est possible de noter une légère diminution, d'année en année, des émissions de gaz à effet de serre pour ces deux types de transports (figure 19). Ceci est principalement grâce à la diminution du flux aérien depuis 2005. Le pic d'émissions enregistré en 2000 s'explique par l'agrandissement de l'aéroport cette année-là, le trafic augmentant considérablement.

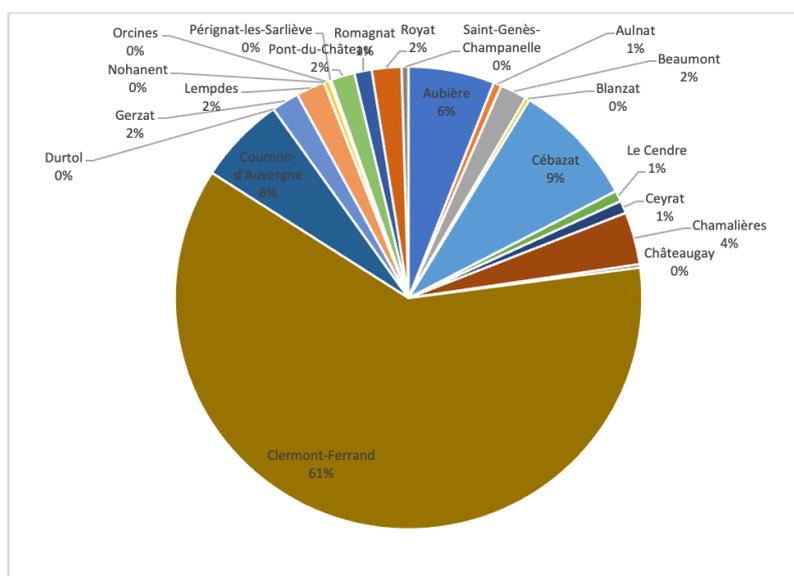
Figure 19 : Pollution réalisée par les autres transports à CAM depuis 1990



Émissions du secteur tertiaire

Il est possible de s'intéresser aux émissions de gaz à effets de serre du secteur tertiaire à Clermont Auvergne Métropole. Étant la "capitale" économique de CAM, Clermont-Ferrand apparaît comme ville majoritaire où le secteur tertiaire émet le plus de GES.

Figure 20 : Part de chaque commune sur l'émission de GES (tertiaire)



Il est possible également de remarquer l'omniprésence de la branche bâtiment (les bureaux, les cafés hôtels et restaurants, commerces, enseignement, la santé, l'habitat communautaire, les sports culture et loisirs, les transports en communs et logistiques) dans les émissions globales.

En effet, 90% des émissions proviennent de ces activités sachant que le CHU de Clermont-Ferrand est le second employeur du Puy-de-Dôme derrière Michelin. L'importance de la santé dans le secteur tertiaire implique donc une émission croissante des gaz à effet de serre, sachant que le secteur de la santé représente 8% des émissions de gaz à effet de serre en France.

Tableau 11 : Émission de GES selon les usages spécifiques

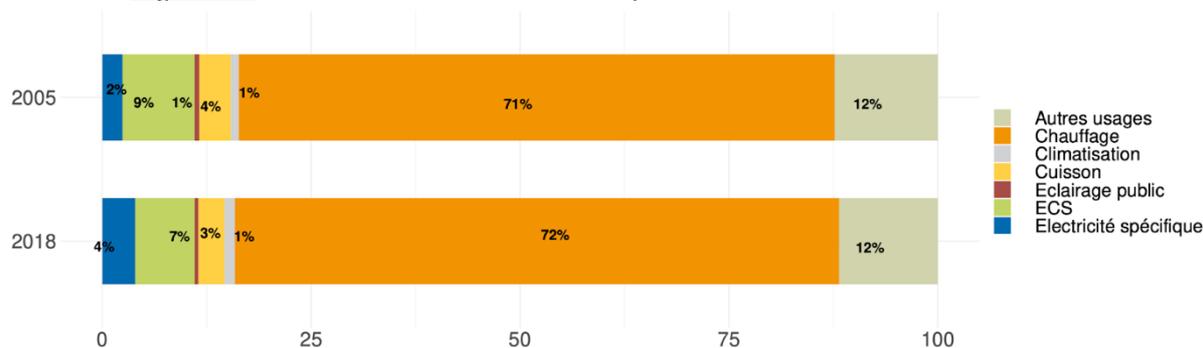
| Usage spécifique | Émissions en kteqCO2 | Pourcentage sur la valeur totale émise |
|----------------------------|----------------------|--|
| Branches bâtiment | 151,08 | 89,90% |
| Eclairage public | 0,63 | 0,37% |
| Tertiaire hors CU | 0,56 | 0,33% |
| Chauffage urbain tertiaire | 3,18 | 1,89% |
| Usagers spécifiques | 12,61 | 7,50% |
| Total | 168,05 | 100,00% |

Concernant les énergies utilisées, les émissions proviennent à 56% du gaz ce qui est corroboré par les deux prochaines figures, montrant que l'utilisation principale de l'énergie est pour le chauffage, au gaz dans la plupart des chauffages de bâtiments.

Tableau 12 : Différentes énergies utilisées pour le tertiaire

| Énergie utilisée | Émissions en kteqCO2 | Pourcentage sur la valeur totale émise |
|---------------------------|----------------------|--|
| Electricité | 29,59 | 17,61% |
| PP | 39,43 | 23,46% |
| ENRt | 0,12 | 0,07% |
| Gaz | 93,59 | 55,69% |
| Non-énergétique | 0,56 | 0,33% |
| Chauffage et froid urbain | 4,43 | 2,64% |
| Non identifié | 0,33 | 0,20% |
| Total | 168,05 | 100,00% |

Figure 10 : Part des émissions de GES pour le tertiaire entre 2013 et 2018

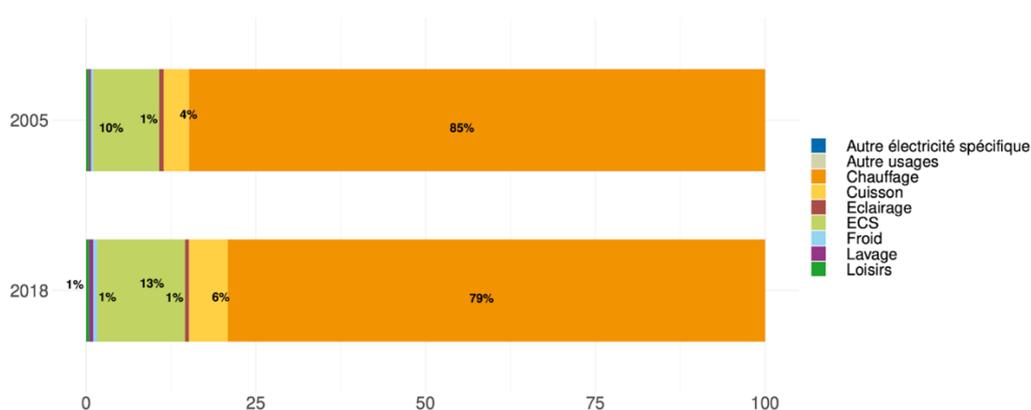


Comme pour le secteur tertiaire, la majorité de la pollution provient de l'utilisation du gaz afin de chauffer les bâtiments du secteur résidentiel comme le montre les deux graphiques suivants.

Tableau 13 : Différentes énergies utilisées pour le résidentiel

| Énergie utilisée | Émissions en kteqCO2 | Pourcentage sur la valeur totale émise |
|---------------------------|----------------------|--|
| Electricité | 23,62 | 5,94% |
| ENRt | 13,37 | 3,36% |
| Gaz | 268,91 | 67,63% |
| Non-énergétique | 0,71 | 0,18% |
| PP | 33,19 | 8,35% |
| Chauffage et froid urbain | 57,74 | 14,52% |
| Non identifié | 0,06 | 0,01% |
| Total | 397,60 | 100,00% |

Figure 11 : Part des émissions de GES pour le résidentiel entre 2005 et 2018



Gestion des déchets

La gestion de déchets se fait donc à travers certaines villes au sein de la métropole et il est possible de connaître les émissions créées par ce secteur grâce aux données de l'ORCAE, synthétisées dans le tableau ci-dessous.

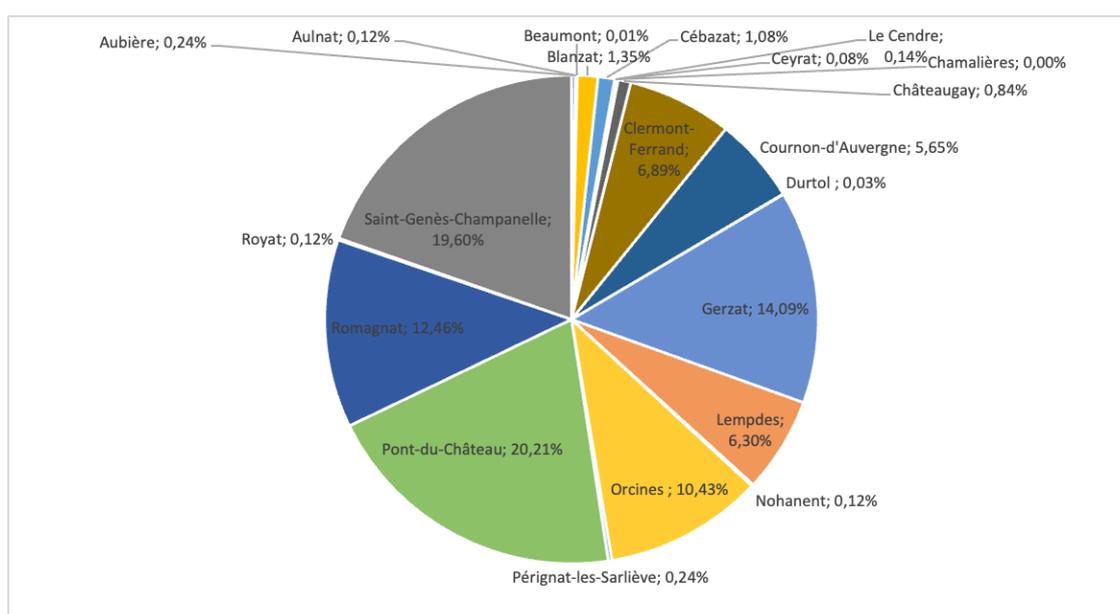
Tableau 14 : Part de chaque commune sur l'émission de GES (gestion de déchets)

| Nom commune | Émissions en kteqCO2 | Pourcentage sur la valeur totale émise |
|--------------------------|----------------------|--|
| Aubière | 0,02 | 0,01% |
| Le Cendre | 0,03 | 0,01% |
| Ceyrat | 0,01 | 0,00% |
| Clermont-Ferrand | 275,48 | 99,85% |
| Coumon-d'Auvergne | 0,29 | 0,11% |
| Orcines | 0,01 | 0,00% |
| Pont-du-Château | 0,06 | 0,02% |
| Saint-Genès-Champagnelle | 0,00 | 0,00% |
| Total | 275,90 | 100,00% |

Émissions de l'agriculture, la sylviculture et de l'aquaculture

Il est également possible de dénombrer les émissions réalisées par l'agriculture, la sylviculture (forêts) ainsi que l'aquaculture. Bien que la répartition géographique soit beaucoup plus partagée, les émissions ne concernent que les communes avec d'importantes exploitations agricoles. C'est pourquoi le graphique ci-dessous évoque principalement des communes où la densité d'habitants est assez faible, du fait de la superficie importante des différentes cultures.

Figure 25 : Part de chaque commune sur l'émission de GES (agriculture, sylviculture et aquaculture)

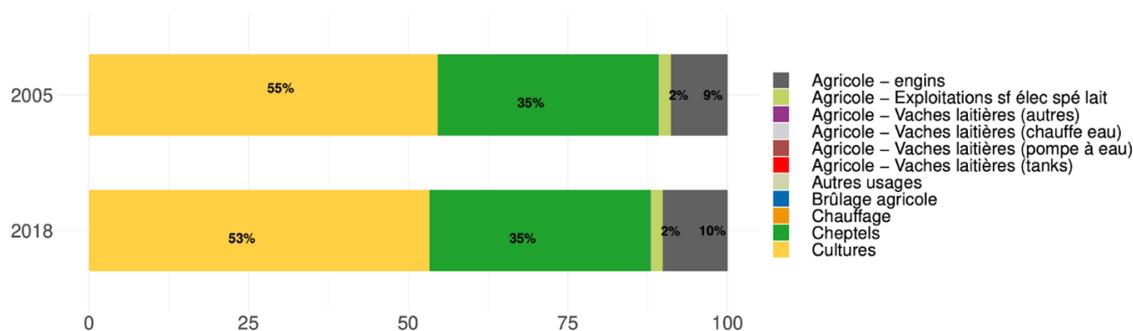


Concernant la nature des émissions et l'énergie utilisée pour les avoir, cela va être des émissions non-énergétiques, c'est-à-dire des fermentations entériques, des composés organiques et azotés issus des déjections animales, des cultures avec engrais, des feux de déchets agricoles et écobuage ainsi que l'utilisation de pesticides et de calcaire.

Tableau 15 : Différentes énergies utilisées pour l'agriculture, la sylviculture et de l'aquaculture

| Énergie utilisée | Émissions en kteqCO2 | Pourcentage sur la valeur totale émise |
|------------------|----------------------|--|
| Electricité | 0,05 | 0,28% |
| Gaz | 0,22 | 1,18% |
| Non-énergétique | 16,78 | 87,97% |
| PP | 2,01 | 10,52% |
| Total | 19,07 | 100,00% |

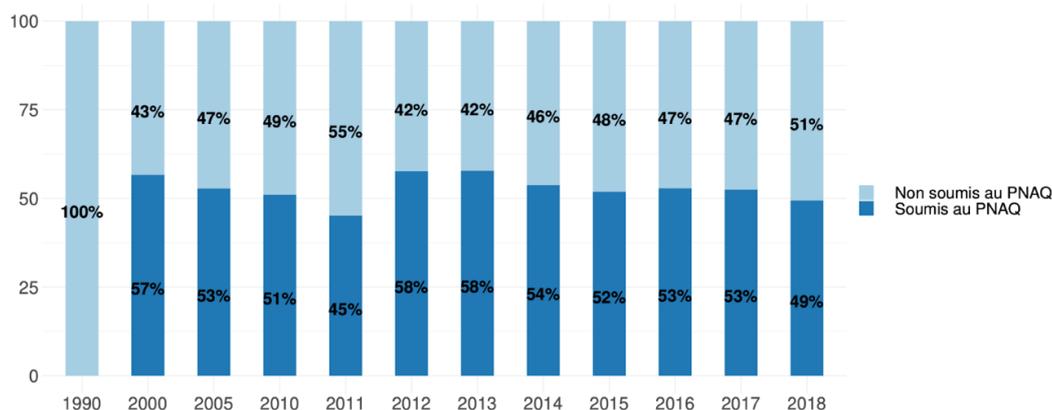
Figure 26 : Provenance des émissions en fonction de l'énergie utilisée dans le secteur agricole



Émissions de l'industrie hors branche énergie

Un des secteurs les plus polluants est l'industrie sans considérer la branche énergie. Pour cela, il est possible de diviser entre les industries soumises sur le Plan National d'Allocation des Quotas et celles qui ne le sont pas. En 2018, près de la moitié des émissions de gaz à effets de serre proviennent d'industries soumises au PNAQ.

Figure 27 : Évolution du nombre d'industries soumises au PNAQ



93% des industries à l'origine des émissions, sont localisées à Clermont-Ferrand. Elles utilisent principalement des énergies (tableau ci-dessous).

Tableau 16 : Différentes énergies utilisées pour l'industrie hors branche énergie

| Énergie utilisée | Émissions en kteqCO2 | Pourcentage sur la valeur totale émise |
|---------------------------|----------------------|--|
| CMS | 0,09 | 0,10% |
| Electricité | 0,60 | 0,66% |
| ENRt | 0,02 | 0,02% |
| Gaz | 48,59 | 53,51% |
| Non-énergétique | 0,21 | 0,23% |
| PP | 9,13 | 10,05% |
| Chauffage et froid urbain | 2,96 | 3,26% |
| Non identifié | 29,20 | 32,16% |
| Total | 90,80 | 100,00% |

Concernant les secteurs les plus polluants, il est possible de retrouver en première place le transport routier, principalement du fait de l'importance des véhicules particuliers dans le trafic routier. De plus, il serait intéressant de considérer la branche bâtiment comme la plus émettrice puisque les émissions des secteurs résidentiels et tertiaires proviennent des mêmes usages : le chauffage, majoritairement au gaz.

Tableau 18 : Bilan des émissions pour CAM

| Secteur | Émissions en kteqCO2 | Pourcentage sur la valeur totale émise |
|--|----------------------|--|
| Agriculture, sylviculture et aquaculture | 19,07 | 1,35% |
| Industrie hors branche énergie | 90,80 | 6,41% |
| Gestion des déchets | 275,90 | 19,48% |
| Autres transports | 12,47 | 0,88% |
| Résidentiel | 397,60 | 28,07% |
| Tertiaire | 168,05 | 11,87% |
| Non identifié | 0,02 | 0,00% |
| Transport routier | 452,32 | 31,94% |
| Total | 1416,23 | 100,00% |

Enfin, il est important de rappeler que l'absorption annuelle par séquestration naturelle est de 78,17 kilos tonnes équivalent CO₂, soit une valeur assez négligeable face à l'émission annuelle en équivalent dioxyde de carbone.

Comparaison avec d'autres bilan carbone de Métropole

Pour parfaire l'étude sur le bilan carbone de Clermont Métropole, nous avons choisi de comparer cette dernière avec 2 autres provenant de la même région Auvergne-Rhône-Alpes : St-Etienne Métropole et Grenoble Métropole. La comparaison se fera alors dans un premier temps au niveau du secteur étudié (superficie, population, densité...) et dans un deuxième temps nous nous intéresserons sur la séquestration nette de dioxyde de carbone, les émissions totales de GES et la consommation d'énergie finale totale. (ORCAE, 2018)

Saint-Étienne Métropole (SEM)

Saint-Étienne Métropole (SEM) présente un ensemble de 49 communes donnant un total de 409614 habitants, une superficie de 723,50 km² et une densité de 566 habitants/km².

Séquestration nette de dioxyde de carbone

Tableau 19 : Absorption annuelle de carbone selon le type d'occupation (SEM)

| type d'occupation | absorption annuelle du carbone en kteqCO2/an | surface en km2 | Pourcentage sur l'absorption totale |
|-------------------|--|----------------|-------------------------------------|
| prairies | 213,28 | 193 | 14% |
| forêts | 34,72 | 193 | 86% |
| total | 248 | 386 | 100% |

La séquestration nette de CO₂ se fait principalement à travers les forêts comme pour CAM. On observe une absorption annuelle en carbone sur la surface de 0,17

kteqCO₂/(an.km²) ce qui représente 6 fois moins d'absorption annuelle comparé à CAM (1,1 kteqCO₂/(an.km²)).

Tableau 20 : Stockage du CO₂ selon le type d'occupation (SEM)

| type d'occupation | surface en km ² | stockage en kteqCO ₂ | Pourcentage sur le stockage net totale |
|-------------------|----------------------------|---------------------------------|--|
| cultures | 155,68 | 2883 | 20% |
| prairies | 196,6 | 5766 | 40% |
| forêts | 194,6 | 5477,7 | 38% |
| vergers | 16 | 288,3 | 2% |
| vignobles | 0 | 0 | 0% |
| total | 556 | 14415 | 100% |

Lorsqu'on se penche au niveau du stockage du CO₂, on remarque que Saint-Étienne Métropole a (quasiment) les mêmes capacités d'absorption que Clermont Auvergne Métropole. En effet, au niveau du stockage du CO₂, les prairies et les forêts (près de 40%) sont les principaux acteurs du stockage donnant un stockage total de CO₂ sur la surface de 25,4 kteqCO₂/km² ce qui est assez identique à CAM (24,3 kteqCO₂/km²).

Émissions totales de GES

Tableau 21 : Émission de GES entre CAM et SEM

| | CAM | SEM |
|----------------------------|----------------|-------------|
| Transport routier | 452,32 | 605 |
| Autre transports | 12,47 | 3 |
| Tertiaire | 168,05 | 245 |
| Résidentiel | 397,6 | 519 |
| Gestion de déchets | 275,9 | 343 |
| Agriculture | 19,07 | 100 |
| Industrie hors bran | 90,8 | 150 |
| Pollution totale ém | 1416,23 | 1966 |

Ce tableau comparatif permet de visualiser les émissions totales de GES pour Clermont Auvergne Métropole et Saint-Étienne Métropole. On remarque que CAM émet moins de gaz à effet de serre sur presque tous les types d'émission. Il ne faut pas oublier que ces émissions sont données à partir du nombre total d'habitants donc il faut recalculer ces émissions pour chaque habitant.

Tableau 22 : Émission de GES entre CAM et SEM (par habitant)

| | CAM (kteqCO ₂ /habitant) | SEM (kteqCO ₂ /habitant) |
|--------------------------------|-------------------------------------|-------------------------------------|
| Transport routier | 0,001537839 | 0,001477 |
| Autre transports | 4,23967E-05 | 7,32397E-06 |
| Tertiaire | 0,000571352 | 0,000598124 |
| Résidentiel | 0,001351797 | 0,001267047 |
| Gestion de déchets | 0,00093803 | 0,000837374 |
| Agriculture | 6,48359E-05 | 0,000244132 |
| Industrie hors branche énergie | 0,00030871 | 0,000366198 |
| Pollution totale émise | 0,004814961 | 0,004799641 |

On voit alors qu'un habitant de Clermont Auvergne Métropole émet plus de gaz à effet de serre qu'un habitant de Saint-Étienne Métropole.

Consommation d'énergie finale totale

Tableau 23 : Consommation d'énergie entre CAM et SEM

| | CAM (GWh) | SEM (GWh) |
|--------------------------------|-----------|-----------|
| Transport routier | 1839 | 2449 |
| Autre transports | 46 | 36 |
| Tertiaire | 1351 | 1793 |
| Résidentiel | 2309 | 3225 |
| Gestion de déchets | 62 | 35 |
| Agriculture | 10 | 41 |
| Industrie hors branche énergie | 686 | 1487 |
| Pollution totale émise | 6303 | 9065 |

Là encore il faut réduire la consommation d'énergie par le nombre d'habitant pour avoir une comparaison plus fiable.

Tableau 24 : Consommation d'énergie entre CAM et SEM par habitant

| | CAM (GWh/habitant) | SEM (GWh/habitant) |
|--------------------------------|--------------------|--------------------|
| Transport routier | 0,006252401 | 0,0059788 |
| Autre transports | 0,000156395 | 8,78876E-05 |
| Tertiaire | 0,004593254 | 0,004377292 |
| Résidentiel | 0,00785035 | 0,007873266 |
| Gestion de déchets | 0,000210793 | 8,54463E-05 |
| Agriculture | 3,39989E-05 | 0,000100094 |
| Industrie hors branche énergie | 0,00030871 | 0,003630247 |
| Pollution totale émise | 0,019405903 | 0,022130591 |

On remarque alors qu'un habitant de Clermont Auvergne Métropole consomme moins d'énergie qu'un habitant de Saint-Étienne Métropole.

Grenoble Métropole (GM)

Grenoble Métropole (GM) présente un ensemble de 53 communes donnant un total de 450 626 habitants, une superficie de 545,54 km² et une densité de 826 habitants/km².

Séquestration nette de dioxyde de carbone

Tableau 18 : Absorption annuelle de carbone selon le type d'occupation (GM)

| type d'occupation | absorption annuelle du carbone en kteqCO ₂ /an | surface en km ² | Pourcentage sur l'absorption totale |
|-------------------|---|----------------------------|-------------------------------------|
| forêts | 306,52 | 276,36 | 97% |
| prairies | 9,48 | 52,64 | 3% |
| total | 316 | 329 | 100% |

On observe le même scénario relatif aux deux métropoles précédentes. La séquestration nette de CO₂ se fait exclusivement par les forêts. Il y a une absorption annuelle en carbone sur la surface de 1,1 kteqCO₂/(an.km²) ce qui est la même absorption annuelle en carbone que CAM.

Tableau 26 : Stockage du CO2 selon le type d'occupation (GM)

| type d'occupation | surface en km2 | stockage en kteqCO2 | Pourcentage sur le stokage net totale |
|-------------------|----------------|---------------------|---------------------------------------|
| cultures | 72,36 | 1405,82 | 13% |
| prairies | 52,26 | 1513,96 | 14% |
| forêts | 277,38 | 7894,2 | 73% |
| vergers | 0 | 0 | 0% |
| vignobles | 0 | 0 | 0% |
| total | 402 | 10814 | 100% |

Lorsqu'on se penche au niveau du stockage du CO2, on remarque que Grenoble Métropole a (quasiment) les mêmes capacités d'absorption que Clermont Auvergne Métropole. En effet les forêts sont les principaux acteurs du stockage (73%) et sont suivies par les cultures/prairies (13% et 14%) donnant un stockage total de CO2 sur la surface de 25,61 kteqCO2/km2 ce qui est assez identique à CAM (24,3 kteqCO2/km2).

Émissions totales de GES

Tableau 19 : Émission de GES entre CAM et GM

| | CAM | GM |
|----------------------------|----------------|-------------|
| Transport routier | 452,32 | 498 |
| Autre transports | 12,47 | 4 |
| Tertiaire | 168,05 | 257 |
| Résidentiel | 397,6 | 471 |
| Gestion de déchets | 275,9 | 80 |
| Agriculture | 19,07 | 17 |
| Industrie hors bran | 90,8 | 493 |
| Pollution totale ém | 1416,23 | 1820 |

Comme pour Saint-Étienne Métropole, ce tableau comparatif permet de visualiser les émissions totales de GES pour Clermont Auvergne Métropole et Grenoble Métropole. On remarque que CAM émet moins de gaz à effet de serre sur presque tous les types d'émission. Cependant il faut réduire ses émissions par nombre d'habitant pour avoir une meilleure comparaison.

Tableau 28 : Émission de GES entre CAM et GM (par habitant)

| | CAM (kteqCO2/habitant) | GM (kteqCO2/habitant) |
|----------------------------|------------------------|-----------------------|
| Transport routier | 0,001537839 | 0,001105129 |
| Autre transports | 4,23967E-05 | 8,87654E-06 |
| Tertiaire | 0,000571352 | 0,000570318 |
| Résidentiel | 0,001351797 | 0,001045213 |
| Gestion de déchets | 0,00093803 | 0,000177531 |
| Agriculture | 6,48359E-05 | 3,77253E-05 |
| Industrie hors bran | 0,00030871 | 0,001094034 |
| Pollution totale ém | 0,004814961 | 0,004038826 |

Il y a le même scénario qu'avec SEM, ici un habitant de Clermont Auvergne Métropole émet plus de gaz à effet de serre qu'un habitant de Grenoble.

Consommation d'énergie finale totale

La même comparaison avec Saint-Étienne Métropole peut être reproduite :

Tableau 29 : Consommation d'énergie entre CAM et GM

| | CAM (GWh) | GM (GWh) |
|---------------------|-----------|----------|
| Transport routier | 1839 | 2030 |
| Autre transports | 46 | 55 |
| Tertiaire | 1351 | 2171 |
| Résidentiel | 2309 | 2972 |
| Gestion de déchets | 62 | 232 |
| Agriculture | 10 | 11 |
| Industrie hors bran | 686 | 3138 |
| Pollution totale ém | 6303 | 10610 |

Et pour la consommation par habitant on obtient donc :

Tableau 30 : Consommation d'énergie entre CAM et GM par habitant

| | CAM (GWh/habitant) | GM (GWh/habitant) |
|---------------------|--------------------|-------------------|
| Transport routier | 0,006252401 | 0,004504844 |
| Autre transports | 0,000156395 | 0,000122052 |
| Tertiaire | 0,004593254 | 0,004817742 |
| Résidentiel | 0,00785035 | 0,00659527 |
| Gestion de déchets | 0,000210793 | 0,000514839 |
| Agriculture | 3,39989E-05 | 2,44105E-05 |
| Industrie hors bran | 0,00030871 | 0,006963646 |
| Pollution totale ém | 0,019405903 | 0,023545024 |

On voit ainsi, comme Saint-Étienne Métropole, qu'un habitant de Clermont Auvergne Métropole consomme moins d'énergie qu'un habitant de Grenoble Métropole.

Scénarios et prospective

Si les bilans Carbone sont aujourd'hui largement répandus dans les collectivités, ils demeurent des photographies statiques d'un écosystème et très peu d'entre eux intègrent une dimension prospective. L'usage de scénarios peut se révéler judicieux lorsqu'il s'agit de proposer un plan d'investissement à long terme en matière d'atténuation ou d'adaptation aux changements climatiques (Bessalem, Diemer, Batisse, 2022) ou encore définir un PCAET (Plan Climat Air Energie Territorial) sous la forme d'actions d'efficacité et/ou de sobriété énergétique. Dans ce qui suit, nous avons focalisé notre attention sur quatre « drivers » importants : (1) la généralisation de la voiture électrique (Le Parlement européen a voté le 8 juin 2022, l'interdiction de la vente des voitures neuves à moteur thermique dans l'Union européenne à partir de 2035) ; l'impact de la climatisation (3) l'éclairage public (qui représente près de 41% des consommations électriques des collectivités publiques, ADEME, 2022) et l'investissement dans les panneaux solaires (alors que la puissance du parc solaire français s'élevait à 14 GW en décembre 2021, la programmation pluriannuelle de l'énergie - PPE - s'est fixé comme objectif un parc photovoltaïque d'une puissance égale à 21 GW en 2023 et une puissance comprise entre 35 et 44 GW en 2028).

La montée en puissance des véhicules électriques

Il est possible d'appréhender la situation de l'écosystème clermontois en matière de véhicules électriques, par une simple extrapolation de l'échelle nationale à l'échelle locale. En France, il y a 478 véhicules pour 1000 habitants en moyenne. La population Clermont auvergne métropole comporte 290 000 habitants, soit 138 620 véhicules sur la zone Clermont Auvergne Métropole. Il y a 463 515 véhicules électriques en France sur 32 millions de véhicules (2% de voitures électriques en moyenne), soit environ 3000 véhicules électriques sur la zone Clermont Auvergne Métropole. Il y a également 1271257 véhicules hybrides en France, soit environ 4% du parc national, ce qui représente près de 5545 véhicules hybrides sur la zone Clermont Auvergne Métropole. Il y a 276 550 véhicules hybrides rechargeables, soit 1% des véhicules en France, ce qui fait près de 1386 véhicules hybrides rechargeables sur la zone Clermont Auvergne Métropole. La consommation électrique des véhicules à Clermont auvergne métropole représente 1.51 GWh (65 gCO₂/kWh pour la production d'électricité en France), soit 0.98 kteq CO₂ au total, c'est à dire 0.00003 kteq CO₂/an pour un véhicule électrique

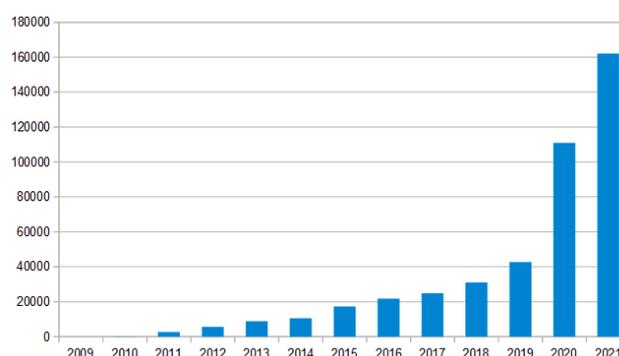
Du côté des véhicules Essence + Diesel, c'est l'équivalent d'une consommation énergétique de 1021 GWh, ce qui représente 252.7 kteq CO₂ au total pour 135 620 véhicules (moyenne de 2.475 kg CO₂/l), soit 0.002 kteq CO₂/an pour un véhicule thermique en moyenne.

Tableau 31 : Pourcentages des ventes

| | 2020 | 2021 | Evol |
|----------------------|---------|---------|--------|
| Essence | 774 383 | 667 503 | - 14% |
| Diesel | 504 178 | 349 482 | - 31% |
| Electrique | 110 916 | 162 106 | + 46% |
| Hybride | 169 084 | 286 525 | + 69% |
| Hybride rechargeable | 74 592 | 141 012 | + 89 % |

Source : DREAL, 2021

Figure 29 : Évolution du nombre de véhicules électriques en fonctions des années

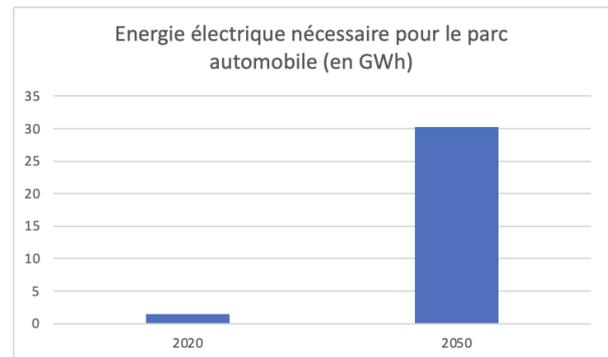
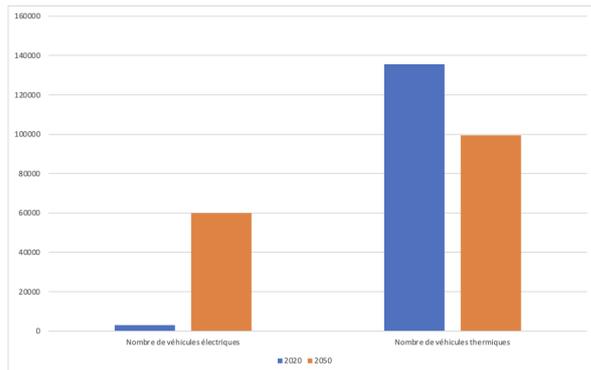


Source : <https://www.virta.global/fr/marche-francais-vehicules-electriques-statistiques-predictions>

En 2021, le marché comportait plus de 160 000 véhicules, ce qui implique une augmentation de près de 35% du parc électrique. En 2050, 60 000 véhicules électriques pourraient circuler dans Clermont métropole, soit presque la moitié du parc automobile sachant que l'on considère les hybrides comme des véhicules thermiques.

Figure 30 : Quelques projections en matières de voitures électriques

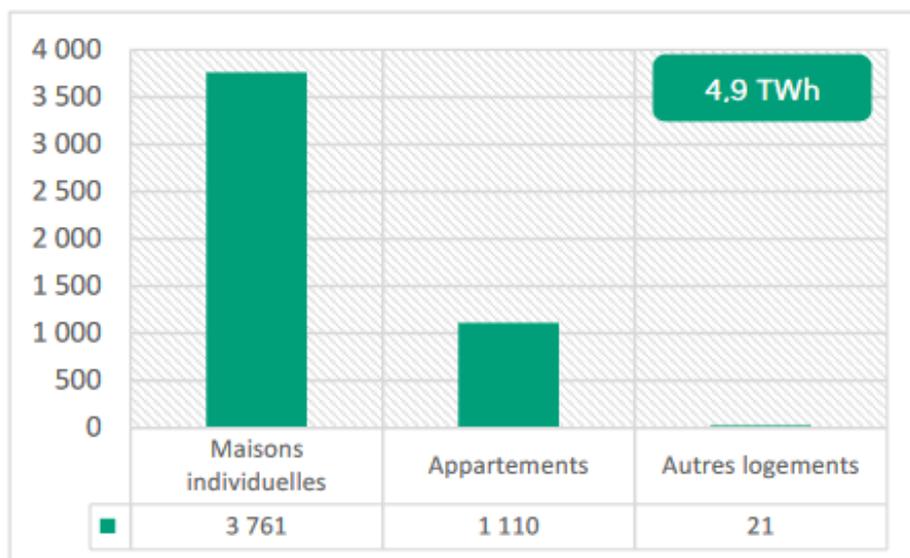
| | Nombre de véhicules électriques | Energie électrique nécessaire | Emissions des véhicules électriques | Nombre de véhicules thermiques | Emissions des véhicules thermiques |
|------|---------------------------------|-------------------------------|-------------------------------------|--------------------------------|------------------------------------|
| 2020 | 3 000 | 1,51 GWh | 0,09 kteqCO2 | 135 620 | 252,7 kteqCO2 |
| 2050 | 60 000 | 30,2 GWh | 1,8 kteqCO2 | 99 413 | 198,8 kteqCO2 |



Une accélération des équipements en climatisation

En l'espace de 10 ans, la climatisation s'est installée dans le paysage national, au point de constituer l'un des postes énergétiques les plus évolutifs des 10 prochaines années. La climatisation renvoie avant tout à la consommation énergétique résidentielle.

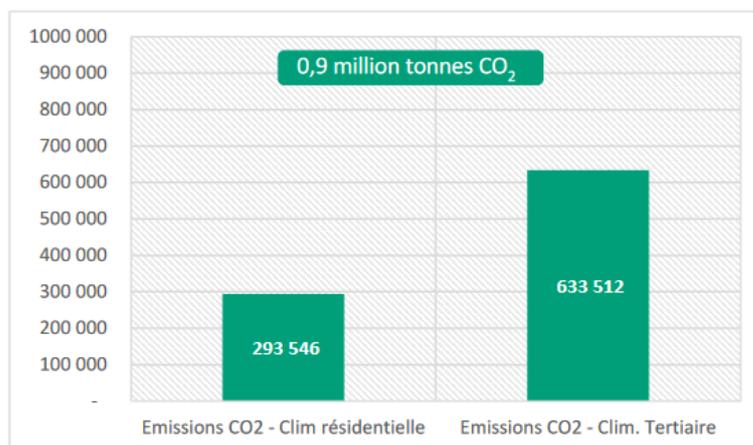
Figure 31 : Consommation énergétique associée à la climatisation résidentielle en 2020



*La consommation énergétique associée à la climatisation résidentielle en 2020 (Gwh)
Source : Modélisation ADEME – CODA Stratégies*

Elle se traduit dans le bilan carbone, par une hausse des émissions de GES.

Figure 32 : Émissions de CO₂ associées à la production d'électricité consommée par les systèmes de climatisation en 2020



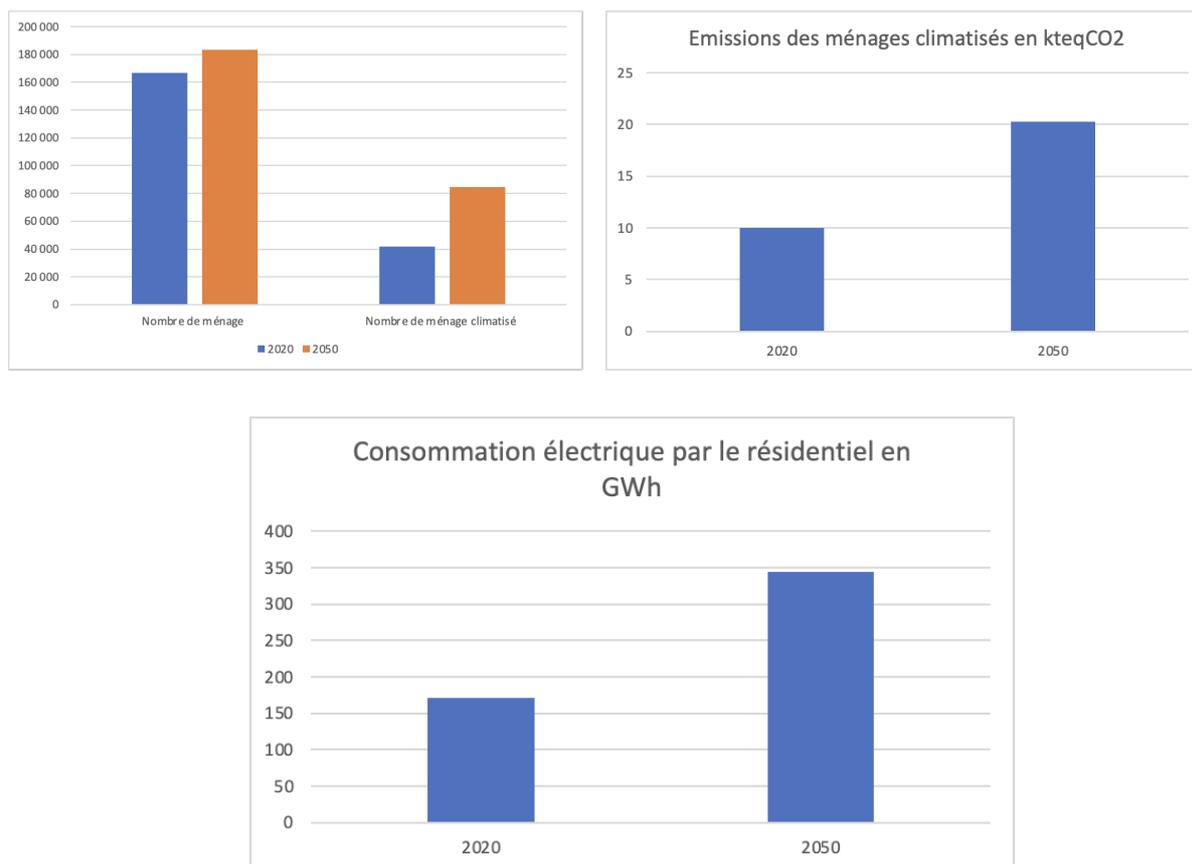
Les émissions de CO₂ associées à la production d'électricité consommée par les systèmes de climatisation en 2020

Source : ADEME Modélisation CODA Stratégies

De 2015 à 2020, les ventes d'air conditionné dans le secteur résidentiel sont passées de 350 000 à 800 000, ce qui représente en 5 ans une explosion des ventes (plus du double). Avec les étés plus rudes, on peut estimer que les ventes pourront être multipliées par 4 tous les 10 ans. Cependant, avec l'application de la nouvelle réglementation environnementale RT 2020 dans le logement neuf, les systèmes de climatisations ne seront plus nécessaires puisque les maisons seront conçues pour un confort d'été suffisant. On peut donc estimer que les ventes de climatiseurs doubleront tous les 10 ans, soit pour 2050, près de 6 millions de climatiseurs en plus. On compte aujourd'hui près de 28.2 millions de ménages dont 25% sont climatisés (soit 7 millions de ménages). Si on suit cette évolution, ces chiffres devraient quasiment doubler avec environ 6 millions de climatiseurs en plus. Le taux d'équipement des français serait proche de 46%. En termes d'émissions de GES, nous passerions de 293.5 kteq CO₂/an en 2020 à 545.2 kteq CO₂/an en 2050 (pour la simple climatisation). À Clermont Auvergne Métropole, la consommation énergétique liée à la climatisation serait proche de 170.4 GWh/an (il s'agit de secteurs résidentiel et tertiaire), soit par an 10 kteq CO₂/an.

Figures 33 : Quelques projections en matière de climatisation

| | Nombre de ménage | Nombre de ménage climatisé | Emissions des ménages climatisés | Consommation électrique |
|------|------------------|----------------------------|----------------------------------|-------------------------|
| 2020 | 166 757 | 41 689 | 10 kteqCO ₂ | 170,4 GWh |
| 2050 | 183 432 | 84 379 | 20,24 kteqCO ₂ | 344,89 GWh |



Évolution de consommation de l'éclairage public

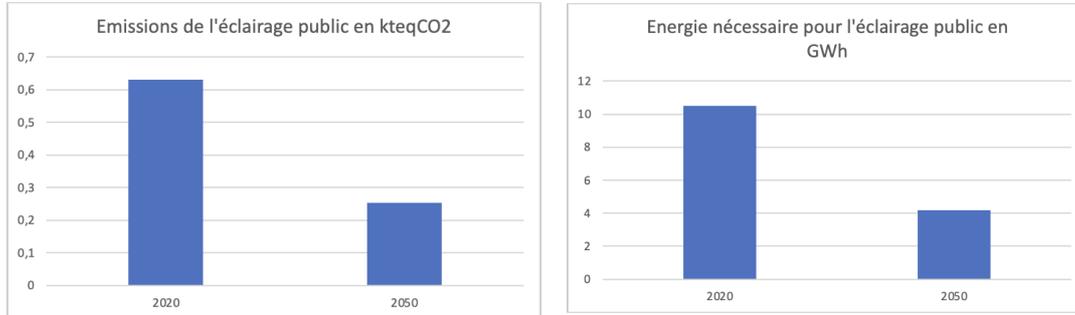
La consommation annuelle en matière d'éclairage public est estimée à 6 TWh/an, soit 360 kteq CO₂/an. L'éclairage public représente entre 41 et 50% de la consommation totale en énergie des communes. C'est la seconde plus grande dépense énergétique après le secteur du bâtiment, elle fait partie des priorités en matière de sobriété (réduire la consommation) et d'efficacité énergétique (réduire la production). Ces deux volets peuvent avoir un impact important dans le bilan des émissions de CO₂. Le parc actuel est composé de 30 à 35% de lampe à vapeur de mercure ; 5 à 10% de lampe à iodures métalliques et de 55 à 60% de lampe à vapeur de sodium haute pression.

Les technologies LED étant en pleine explosion, on peut penser que les prévisions pour 2050 seront que la France ne sera plus équipée de lampadaires à vapeur de mercure. De plus, les nouvelles technologies de modulation de luminosité en fonction du trafic et de l'environnement permettent aujourd'hui selon l'ADEME (2021) de réduire de 60% les consommations totales³. On passerait donc de 6 TWh/an à 2.4 TWh/an. Cette économie permettrait de réduire de 216 kteq CO₂/an les émissions de CO₂.

³ Dans le cas où la CAM mettrait en place un véritable plan de sobriété énergétique, notamment en réduisant l'éclairage public la nuit, il y a tout lieu de penser que les économies d'énergies seraient beaucoup plus importantes.

Figure 34 : Quelques projections en matière d'éclairage public

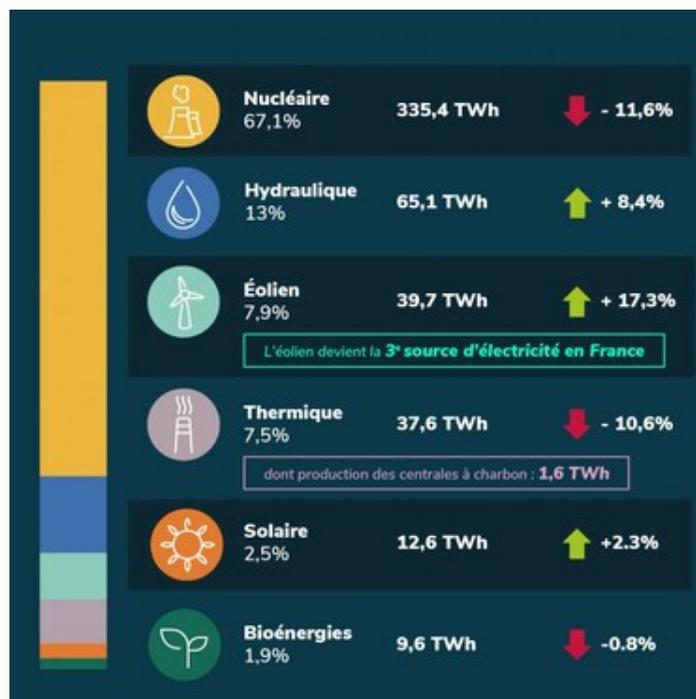
| | Emissions de l'éclairage public | Energie nécessaire |
|------|---------------------------------|--------------------|
| 2020 | 0,63 kteqCO2 | 10,5 GWh |
| 2050 | 0,252 kteqCO2 | 4,2 GWh |



Un investissement massif dans les panneaux photovoltaïques et l'énergie solaire

La France s'est fixée des objectifs en termes de transition écologique. La loi n° 2015-992 du 17 août 2015 précise la part d'énergie renouvelable doit atteindre 32% d'ici 2030. Elle est aujourd'hui proche de 25%, toutefois le parc hydraulique est quasiment totalement utilisé. On comprend donc que le solaire résidentiel constitue l'enjeu principal de la transition, il permettrait à la France de se rapprocher de ses objectifs. Cela explique pourquoi ces installations (solaires) sont fortement subventionnées.

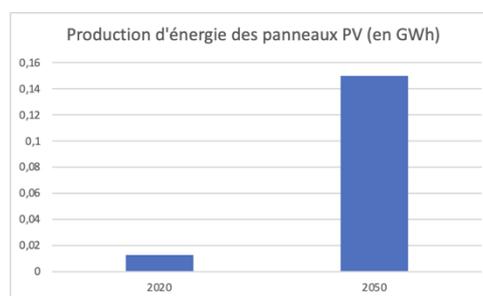
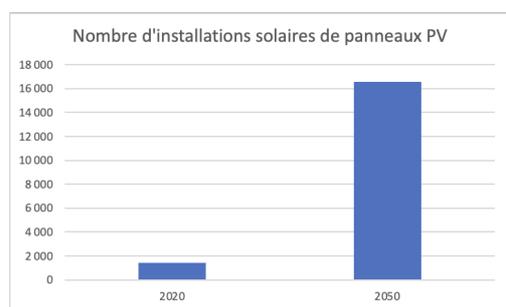
Figure 35 : Mix énergétique 2021



Entre 2014 à 2020, la capacité totale solaire sur toitures résidentielles et tertiaires a augmenté de + 64%, soit une augmentation moyenne de +8.5% par an. En 2019, sur l'ensemble du territoire Clermont Auvergne Métropole, on dénombrait 1435 installations de panneaux solaires pour une production de 12.8 MWh. Selon l'ADEME, les émissions des panneaux photovoltaïques sont de 55g eqCO₂/kWh. En tenant compte de l'évolution du nombre de ménages et d'une progression plus ou moins linéaire du nombre d'installations, il serait possible d'atteindre une production de 150 MWh en 2050.

Figures 36 : Projection et Evolution du solaire

| | Nombre de ménage | Nombre d'installations solaires | Production d'énergie | Emissions/kWh |
|------|------------------|---------------------------------|----------------------|-----------------------|
| 2020 | 166 757 | 1 435 | 0,0128 GWh | 55 geqCO ₂ |
| 2050 | 183 432 | 16 586 | 0,15 GWh | 55 geqCO ₂ |



Conclusion

En l'espace de deux décennies, le réchauffement climatique est devenu l'un des enjeux principaux auxquels sont confrontées les métropoles et les communautés de communes. Les causes (humaines) de ce réchauffement sont désormais bien connues (GIEC, 1995, 2022) et nous devons désormais nous tourner vers des stratégies qui combinent à la fois des actions d'atténuation et d'adaptation. Les effets du réchauffement restent quant eux, très complexes à appréhender. Une simple analyse systémique du changement climatique rappelle que la hausse de la température moyenne est l'arbre qui cache la forêt, les écarts types (et donc la dispersion des températures) traduisent de nombreuses disparités qui se matérialisent par des risques extrêmes (tsunami, inondation, fonte des glaciers, sécheresse, vents violents...). Les villes qui concentrent les plus importantes densités de population, vont devoir faire face à ces aléas climatiques mais également s'engager dans une démarche proactive. La plus importante d'entre elles consiste à mesurer l'empreinte environnementale des activités humaines. Les bilans de GES et les bilans carbone doivent permettre à la fois, d'identifier les sources de pollution et de se fixer des objectifs-cibles à l'horizon 2050. Les questions méthodologiques et réglementaires (comment mesurer nos émissions ?) sont déterminantes lorsqu'il s'agit de définir une trajectoire et des objectifs stratégiques. Ces questions renvoient à la valorisation des émissions mais également aux principes d'une comptabilité environnementale (principalement décarbonée). Clermont Auvergne Métropole, fort de ses 300 000 habitants, n'échappe pas à ses

obligations de produire un bilan GES. Notre article s'est fixé pour objectifs de préciser les grands principes (et la démarche méthodologique) d'un bilan GES et de les appliquer à une communauté de communes afin de mesurer ses émissions de polluants et simuler des actions correctrices. Une comparaison avec d'autres métropoles (Saint Etienne, Grenoble) semble montrer que la CAM génère des émissions par habitant excessives. Le secteur routier est le principal émetteur de GES, notamment via l'utilisation de produits fossiles (gazole et essence). Les mesures européennes visant à interdire la production de véhicules thermiques en 2035 devraient permettre de réduire ces émissions dans l'avenir, toutefois la métropole restera encore très exposée à la pollution d'ici là. Le secteur résidentiel (et tertiaire) est également un gros émetteur de GES, cela est dû au fait que le chauffage des commerces, des maisons, des logements collectifs et autres locaux repose principalement sur le gaz de ville. Les années 90 – 2000 ont cherché à promouvoir cette énergie (plus propre que le fuel) et les subventions étatiques sur les chaudières à gaz (notamment à condensation) ont joué un rôle majeur. Le conflit qui oppose l'Ukraine à la Russie tend à rappeler que l'Europe, et donc la France, dépend des approvisionnements de gaz russe. La sécurité énergétique risque de devenir problématique si le conflit s'inscrit dans le temps. Certains pourront y voir une opportunité, celle de sortir du tout fossile et d'orienter nos économies vers des énergies renouvelables. Toutefois les investissements nécessaires sont colossaux et rien ne dit que ces nouvelles énergies sauront produire des EROI (intensité énergétique) comparables à ceux du pétrole ou du gaz. Par ailleurs, l'évolution de la population urbaine va jouer un rôle prépondérant dans les 20 prochaines années. La volonté des métropoles de réduire les émissions de GES risque de se heurter au simple effet mécanique de la hausse de la population. A cela s'ajoute, un basculement vers le tout électrique (panneaux solaires, voiture électrique...) qui met en tension les capacités de production et donc la réponse de l'offre à la demande. Cette augmentation de la demande électrique va obliger les Etats et les villes à se doter d'un mix énergétique le plus décarboné possible. Or chaque secteur (transport, énergie, logements...) n'a pas les mêmes degrés de liberté et d'ajustement. Enfin, la montée en puissance des équipements en climatisation, des ventes de voitures électriques ou encore la gestion de l'éclairage public risquent de déjouer tous les pronostics en matière de trajectoire énergétique.

Figure 37: Projections pour 2050

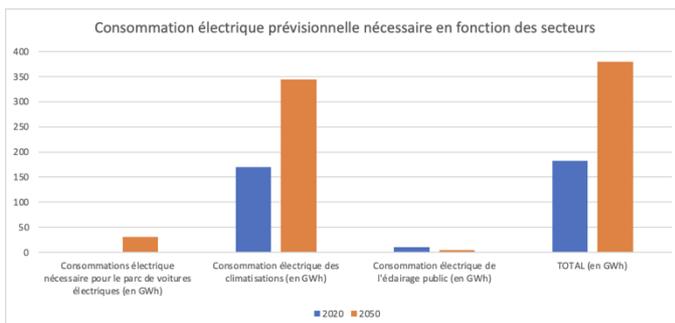
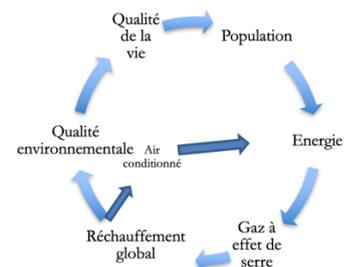


Figure 38: boucle climatisation



Références bibliographiques

- CGEDD (2014), Rapport de la mission conjoint CGEDD - IG INSEE relative aux informations statistiques sur l'énergie, Rapport n°009084-01. Décembre, 168 p.
- CRUTZEN P.J (2007), La géologie de l'Humanité : l'Anthropocène. *Ecologie et Politique*, n°34, 141 - 148.
- CRUTZEN P.J (2002), Geology of Mankind : The Anthropocene. *Nature*, 3 janvier.
- FATTAH J. & Alii (2018), Forecasting of Demand Using ARIMA Model, *International Journal of Engineering Business Management*, vol 10, January-December.
- GEMENNE F., DENIS M. (2019), Qu'est-ce que l'Anthropocène ? *Vie publique*. Le 8 octobre 2019.
- HARRIS R. (2017), *Applied Time Series Modelling and Forecasting*, John Wiley.
- HARVEY A.C (1993), *Time Series Models*. Pearson Education.
- HO S.L (1998), The Use of ARIMA Models for reliability forecasting and Analysis, *Computers ind. Engineering*, vol 35, n°1-2, p. 212-216.
- LEBARD L., PIRON M., MORINEAU A. (2006), *Statistique exploratoire multidimensionnelle*, Dunod.
- MINISTERE DE LA TRANSITION ECOLOGIQUE (2022), *Méthode pour la réalisation des bilans de gaz à effet de serre*, ADEME. <http://www.ecologie.gouv.fr>.
- NEUSSER K. (2016), *Time Series Econometrics*. Springer.
- NEWBOLD P. (1983), Arima Model Building and the Time Series Analysis Approach to Forecasting, *Journal of Forecasting*, vol 2, p. 23 - 35.
- TURKI S., MBENA N., LECOUCVEY F., GIRAULT M. (2002), La consommation d'énergie du tertiaire : une croissance partiellement maîtrisée. *Notes de synthèse du SES*. Mai-Juin, 6 p.

Méthodologie et chiffres

- [1] ORCAE <https://www.orcae-auvergne-rhone-alpes.fr/principes-generaux>
- [2] ORCAE (données sur CAM) https://www.orcae-auvergne-rhone-alpes.fr/fileadmin/user_upload/mediatheque/orcae/Profils_v1/Profil_246300701.pdf
- [3] ORCAE https://www.orcae-auvergne-rhone-alpes.fr/carte-interactive/territoire?tx_cimassociation_displayassociations%5Baction%5D=show&tx_cimassociation_displayassociations%5Bassociation%5D=828&tx_cimassociation_displayassociations%5Bcontroller%5D=Association&cHash=85ccda24758fc5cbb57463cf9a7bf6c8
- [4] Chiffres sur Clermont Métropole <https://www.clermontmetropole.eu/fr/mametrople/la-carte-et-le-territoire/chiffres-cles/>

- [5] Statistiques développement durable <https://www.statistiques.developpement-durable.gouv.fr/382-millions-de-voitures-en-circulation-en-france>
- [6] ADEME <https://www.ademe.fr/collectivites-secteur-public/patrimoine-communes-comment-passer-a-laction/eclairage-public-gisement-deconomies-denergie>
- [7] Actu-environnement <https://www.actu-environnement.com/media/pdf/news-37991-ademe-etude-climatisation-france-2020.pdf>
- [8] Annuaire CAM <https://www.annuaire-mairie.fr/communaute-agglomeration-clermont-communaute.html>
- [9] ORCAE (données sur SEM) https://www.orcae-auvergne-rhone-alpes.fr/fileadmin/user_upload/mediatheque/orcae/Profils_v1/Profil_244200770.pdf
- [10] Annuaire SEM <https://www.annuaire-mairie.fr/communaute-agglomeration-saint-etienne-metropole.html>
- [11] ORCAE (données sur GM) https://www.orcae-auvergne-rhone-alpes.fr/fileadmin/user_upload/mediatheque/orcae/Profils_v1/Profil_200040715.pdf
- [12] Annuaire GM <https://www.annuaire-mairie.fr/intercommunalite-grenoble-alpes-metropole.html>