

# RAPPORT DE RECHERCHE

UE : Modélisation des Phénomènes économiques

## Énergie : les réseaux de chaleur



Présenté par

Aymane JEBRANE  
Yacine PETARD  
Sofiane TAREB  
Joris MAZAUDIER

# TABLE DES MATIÈRES

<b>INTRODUCTION</b> .....	<b>3</b>
❖ Présentation du contexte de l'étude :.....	3
❖ Choix du thème :.....	4
❖ Définition des termes :.....	4
❖ Présentation de la problématique :.....	4
<b>PARTIE 1 : DIAGNOSTIC DU TERRITOIRE</b> .....	<b>5</b>
❖ Présentation des caractéristiques du territoire :.....	5
❖ Délimitation vis-à-vis du thème et de la problématique choisis :.....	6
❖ Analyse des acteurs et des actions sur le territoire :.....	7
❖ Utilisation possible des outils :.....	8
ClickChart :.....	8
❖ Enquêtes et récolte de données :.....	10
<b>ANALYSE DE DONNÉE</b> .....	<b>13</b>
❖ L'analyse complète des données sur les différents types de chauffage révèle les informations suivantes :.....	17
❖ Réalisation d'une matrice SWOT du territoire :.....	19
❖ Benchmarking = Comparaison avec un ou deux territoires comparables :.....	20
<b>Partie 2 : Structure du Modèle</b> .....	<b>24</b>
❖ Description du cid global :.....	24
❖ CLD global.....	25
❖ Explication des arbres.....	26
❖ CLD avec Levier.....	27
❖ Description du cid avec levier:.....	27
❖ Présentation du modèle structurel dans un tableaux.....	29
<b>Partie 3 : Proposition d'une simulation de l'impact du réseaux de chaleur (saint jacque ) sur clermont métropole en utilisant notre base de donnée comme échantillon :.....</b>	<b>30</b>
❖ Introduction à la partie simulation :.....	30
❖ L'échantillon étudié, qui représente un quartier de la métropole clermontoise, est un élément essentiel pour évaluer l'impact du réseau de chaleur sur la région. Voici comment ce réseau peut valoriser cet échantillon et contribuer à l'ensemble de la métropole :.....	32
<b>Conclusion</b> .....	<b>34</b>
<b>Bibliographie</b> .....	<b>35</b>
<b>Annexes</b> .....	<b>36</b>

# INTRODUCTION

## ❖ Présentation du contexte de l'étude :

L'énergie, clé de voûte de notre civilisation moderne, est la puissance invisible qui alimente nos foyers, nos entreprises, nos systèmes de transport et bien plus encore. Toutefois, sa production et son utilisation ont un impact environnemental significatif, un défi que les villes du monde entier sont déterminées à relever, notamment via l'ODD 7 (Énergie propre). Les ODD (objectifs du développement durable) sont un appel à l'action lancé par l'ONU en 2015. L'ODD 11 villes durables nous rappelle que plus de la moitié de la population mondiale vit dans des villes, et cette proportion devrait atteindre 60% à l'horizon 2030. La France n'échappe pas à cette tendance. Selon l'INSEE (2020), 93% de la population française vit dans l'aire d'attraction<sup>1</sup> d'une ville. Les villes et les zones métropolitaines sont des pôles de croissance économique, cependant elles émettent près de 70% des émissions de carbone et consomment plus de 60% des ressources naturelles. Clermont Métropole constitue le principal pôle d'attractivité du département du Puy de Dôme, et sa commune-centre, Clermont-Ferrand, occupe une place privilégiée au sein de l'EPCI (Etablissement Public de coopération intercommunale) composée de 21 communes. Depuis quelques années, les EPCI se voient confier un certain nombre de responsabilités (processus de décentralisation). La question énergétique via la mise en place d'un Plan Climat Air Énergie Territorial (PCAET) constitue l'une d'entre elles. A l'horizon 2050, Clermont-métropole devra à la fois réduire son empreinte environnementale (diminution drastique des émissions de GES) et atteindre les cibles gouvernementales en matière d'énergie renouvelable (cela passe par une moindre dépendance envers les énergies fossiles, principalement le gaz et le pétrole). Cette stratégie globale de transition énergétique concerne non seulement les infrastructures urbaines (secteur résidentiel et tertiaire), mais aussi l'agriculture et les transports, deux secteurs clés de l'économie locale.

Dans cette optique, l'agriculture devient un acteur de la production d'énergie renouvelable, notamment grâce à des innovations comme la biométhanisation ou l'agrovoltaïsme. De plus, la ville entend bien optimiser l'efficacité énergétique de ses bâtiments et promouvoir des modes de transport plus écologiques. Un exemple concret de cette transformation est le nouveau réseau de chaleur de Saint Jacques, alimenté par un incinérateur de déchets organiques. Envisagé dans le cadre de l'objectif Horizon 2050, ce réseau est un exemple de la façon dont des initiatives locales peuvent contribuer à une transition énergétique plus durable et décentralisée.

Cependant, malgré ces avancées, notre précédente analyse a révélé que Clermont-Ferrand reste fortement dépendante des énergies non renouvelables. D'où l'importance et l'urgence de notre étude, qui vise à approfondir notre compréhension du système énergétique local et à déterminer comment il peut être amélioré pour favoriser une transition énergétique encore plus durable

---

<sup>1</sup> L'aire d'attraction d'une ville définit l'étendue de son influence sur les communes environnantes. Une aire est composée d'un pôle, défini à partir de critères de population et d'emploi, et d'une couronne, constituée des communes dont au moins 15 % des actifs travaillent dans le pôle. Au sein du pôle, la commune la plus peuplée est appelée commune-centre

## ❖ Choix du thème :

Dans ce contexte, notre équipe a décidé de se concentrer sur l'analyse du domaine énergétique à Clermont Métropole, et plus particulièrement sur l'impact environnemental et économique du nouveau réseau de chaleur à Saint Jacques. Le choix de ce thème a été motivé par plusieurs facteurs. D'une part, la transition énergétique est un enjeu majeur pour Clermont Métropole, qui vise à atteindre ses objectifs environnementaux et économiques à l'horizon 2050. D'autre part, l'étude du nouveau réseau de chaleur de Saint Jacques offre une occasion unique d'examiner de près comment une initiative locale peut contribuer à cette transition.

Notre précédente analyse a révélé que, malgré les efforts louables de Clermont-Ferrand pour diversifier ses sources d'énergie et promouvoir les énergies renouvelables, la ville reste largement dépendante des énergies non renouvelables. Cette situation souligne l'importance et l'urgence d'approfondir notre compréhension du système énergétique local et de déterminer comment il pourrait être amélioré pour favoriser une transition énergétique plus durable.

## ❖ Définition des termes :

Réseau de chaleur : Un réseau de chaleur, ou réseau de chauffage urbain, est un système de distribution de chaleur généralement sous forme d'eau chaude ou de vapeur depuis un lieu centralisé de production vers des utilisateurs multiples, souvent des bâtiments résidentiels, commerciaux ou industriels.

Biomasse : La biomasse est une source d'énergie renouvelable provenant de matière organique, comme les plantes ou les déchets organiques. Elle peut être utilisée pour produire de l'électricité, de la chaleur ou des biocarburants.

GES (Gaz à effet de serre) : Ce sont des gaz présents dans l'atmosphère qui absorbent et émettent du rayonnement infrarouge, contribuant ainsi à l'effet de serre, qui réchauffe la surface de la Terre.

## ❖ Présentation de la problématique :

La métropole de Clermont se confronte à un défi majeur : réduire son empreinte carbone tout en assurant l'approvisionnement énergétique de ses habitants. Cette tâche est compliquée par l'augmentation constante de la demande en énergie, ainsi que par les effets du changement climatique. La transition vers des sources d'énergie plus durables, notamment via l'extension et l'optimisation des réseaux de chaleur existants et futurs, est une des solutions envisagées pour relever ce défi. Cependant, la mise en œuvre de ces solutions nécessite **une compréhension détaillée de l'impact du réseau de chaleur de Saint-Jacques et de ses potentialités sur la métropole, ce qui est l'objet de ce travail.**

# Partie 1 : Diagnostic du territoire

## ❖ Présentation des caractéristiques du territoire :

Clermont Métropole, située dans le centre de la France, est un territoire dynamique et diversifié qui présente une variété d'habitats et un paysage géographique unique. Avec une population d'environ 290 000 habitants répartis sur 21 communes, c'est une région qui combine harmonieusement les éléments urbains, périurbains et ruraux, offrant ainsi une diversité de paysages et d'environnements de vie.

L'habitat à Clermont Métropole est caractérisé par une grande variété de constructions, reflétant les différentes périodes de son développement. On y trouve des bâtiments anciens, des constructions plus récentes et des bâtiments très anciens. Cette diversité architecturale pose à la fois des défis et des opportunités en matière de gestion énergétique. Les bâtiments plus anciens, par exemple, peuvent nécessiter d'importantes rénovations pour améliorer leur efficacité énergétique et réduire leur impact environnemental. D'un autre côté, les constructions plus récentes offrent la possibilité d'intégrer dès le départ des technologies énergétiques avancées et durables.

La variabilité des altitudes sur le territoire de Clermont Métropole, allant des plaines aux zones de montagnes, ajoute une autre dimension à la question énergétique. Cette diversité topographique peut influencer les choix en matière de sources d'énergie, les conditions climatiques variant en fonction de l'altitude. Par exemple, les zones de haute altitude peuvent être plus adaptées à l'utilisation de l'énergie éolienne, tandis que les plaines pourraient être plus propices à l'énergie solaire.

Par ailleurs, Clermont Métropole est une région économiquement dynamique, avec une industrie bien développée, une activité tertiaire en plein essor et une agriculture toujours présente. Ces différents secteurs ont des besoins énergétiques spécifiques et constituent des acteurs clés de la transition énergétique sur le territoire.

En conclusion, les caractéristiques diversifiées de Clermont Métropole, en termes de paysage, d'habitat, et d'économie, rendent la question de l'énergie particulièrement complexe. Cependant, cette diversité offre aussi de nombreuses opportunités pour des solutions innovantes et adaptées à chaque contexte local. Le réseau de chaleur de Saint Jacques en est un exemple concret.



## ❖ Délimitation vis-à-vis du thème et de la problématique choisis :

Notre projet se concentre sur l'énergie, plus précisément sur l'évaluation de l'impact environnemental et économique du réseau de chaleur Saint-Jacques et sur l'élaboration de stratégies pour réduire l'empreinte carbone de la métropole de Clermont-Ferrand. La problématique de notre étude peut être formulée comme suit : "Comment optimiser l'utilisation et l'expansion du réseau de chaleur Saint-Jacques et développer des stratégies énergétiques efficaces pour minimiser l'empreinte carbone de Clermont Métropole d'ici 2050?"

Cette problématique nous a guidés dans la définition de nos objectifs et dans l'élaboration de notre méthodologie. Elle nous a permis de cibler notre recherche sur des aspects spécifiques, tout en gardant une vision globale de la situation énergétique de la métropole.

Cependant, il est important de préciser que notre étude se concentre principalement sur l'aspect technique et économique de la transition énergétique, et non sur les aspects politiques ou sociaux. Nous sommes conscients que ces facteurs jouent également un rôle important, mais compte tenu de nos compétences et de notre champ d'expertise, nous avons choisi de nous concentrer sur l'aspect technique.

De plus, bien que nous ayons utilisé le quartier de Saint-Jacques comme point de départ pour notre analyse, nous avons extrapolé nos résultats à l'ensemble de la métropole. Cela a été rendu possible grâce à l'utilisation de méthodes statistiques rigoureuses et à la coopération avec les autorités locales et les fournisseurs d'énergie.

Enfin, notre étude est basée sur des données et des technologies disponibles à l'heure actuelle. Nous sommes conscients que le paysage énergétique évolue rapidement et que de nouvelles technologies ou réglementations pourraient influencer les résultats de notre étude. C'est pourquoi nous avons mis l'accent sur l'importance de l'adaptabilité et de l'innovation dans la mise en œuvre de nos recommandations.

En somme, bien que notre étude présente certaines limites, nous croyons qu'elle offre un aperçu précieux et une base solide pour la planification future de la transition énergétique à Clermont Métropole.

## ❖ Analyse des acteurs et des actions sur le territoire :

Il existe actuellement quatre réseaux de chaleur : Beaumont, Royat, Croix de Neyrat, et La Gauthière, avec un cinquième, Saint-Jacques, en cours de construction.

Le réseau de Beaumont, qui dessert environ 550 logements, et celui de Royat, qui approvisionne environ 750 logements, sont tous deux alimentés au gaz et exploités par Dalkia et la Société Thermique de Royat, respectivement. Un projet est en cours pour étendre ces deux réseaux, qui permettra de chauffer 4 000 logements supplémentaires d'ici 2023. Les acteurs principaux de cette expansion sont Engie Solutions (ECLA) et DALKIA (Clervia), les délégataires énergétiques chargés de la mise en œuvre et de la gestion du service.

Le réseau de Croix de Neyrat, qui produit 41 GWh d'énergie thermique, est géré par Énergie Clermont-Ferrand Avenir (ECLA), une filiale d'ENGIE Solutions. Il utilise deux types de chaudières : des chaudières à bois et des chaudières à gaz qui peuvent fonctionner au fioul en cas de grand froid. La gestion du bois nécessaire pour alimenter les chaudières est assurée par SOVEN, une filiale de Cofely, qui collecte et stocke le bois dans un rayon de 50 km autour de Clermont-Ferrand.

Le réseau de La Gauthière, le premier quartier de Clermont-Ferrand à être équipé d'un réseau de chaé par Clervia, une filiale de Dalkia France. La chaufferie utilise une combinaison de chaudières à bois, à gaz et de cogénération gaz pour fournir de la chaleur aux bâtiments du quartier, parmi lesquels figurent des institutions publiques importantes.

Enfin, le futur réseau de Saint-Jacques, qui est actuellement en construction, fournira de la chaleur à environ 10 000 logements une fois achevé. Il s'agit d'un projet ambitieux, avec une production de chaleur prévue de 100 GWh/an, qui permettra d'éviter plus de 14 000 tonnes de CO2 par an.

Ces réseaux de chaleur jouent un rôle crucial dans l'effort de Clermont Métropole pour réduire les émissions de gaz à effet de serre et favoriser la transition énergétique. Ils illustrent également comment les acteurs locaux, tels que les municipalités, les fournisseurs



Le Clickchart présente une vision globale du domaine énergétique de la métropole Clermontoise, qui consomme 7 000 GW/an. Cette consommation se décompose en 27% d'électricité, 31% de carburant, 31% de gaz, et 2% provenant des réseaux de chaleur.

L'électricité est principalement fournie par EDF et des ombrières photovoltaïques. EDF tire sa production de sources diverses : le nucléaire (56 réacteurs sur 18 centrales en France pour une capacité de 38 GWh, soit 70% de la production d'électricité du pays), l'hydraulique (4000 centrales en France), et l'éolien (17 000 éoliennes en France).

La part de carburant de la consommation énergétique provient principalement des 13 000 voitures vendues dans la métropole, avec une répartition de 39% d'essence et 56% de diesel. Ce carburant est fourni par Total qui l'importe via des navires et des pipelines.

La part de gaz est fournie par GRDF, tandis que la part des réseaux de chaleur est assurée par Valtom (déchets), Clervia (biomasse : bois) et Ecla (biomasse : bois). Ces réseaux de chaleur ont un impact environnemental significatif, permettant d'économiser 25 000 tonnes de CO<sub>2</sub> par an, pour un investissement de 65M d'€ (avec 15M prévu en plus).

Le quartier Saint Jacques est alimenté par le réseau de chaleur de Valtom, qui produit 100 GWh/an de chaleur pour 10 000 logements, réduisant de 14 000 tonnes les émissions de CO<sub>2</sub> annuelles. La métropole clermontoise a investi 47 millions d'euros pour ce réseau.

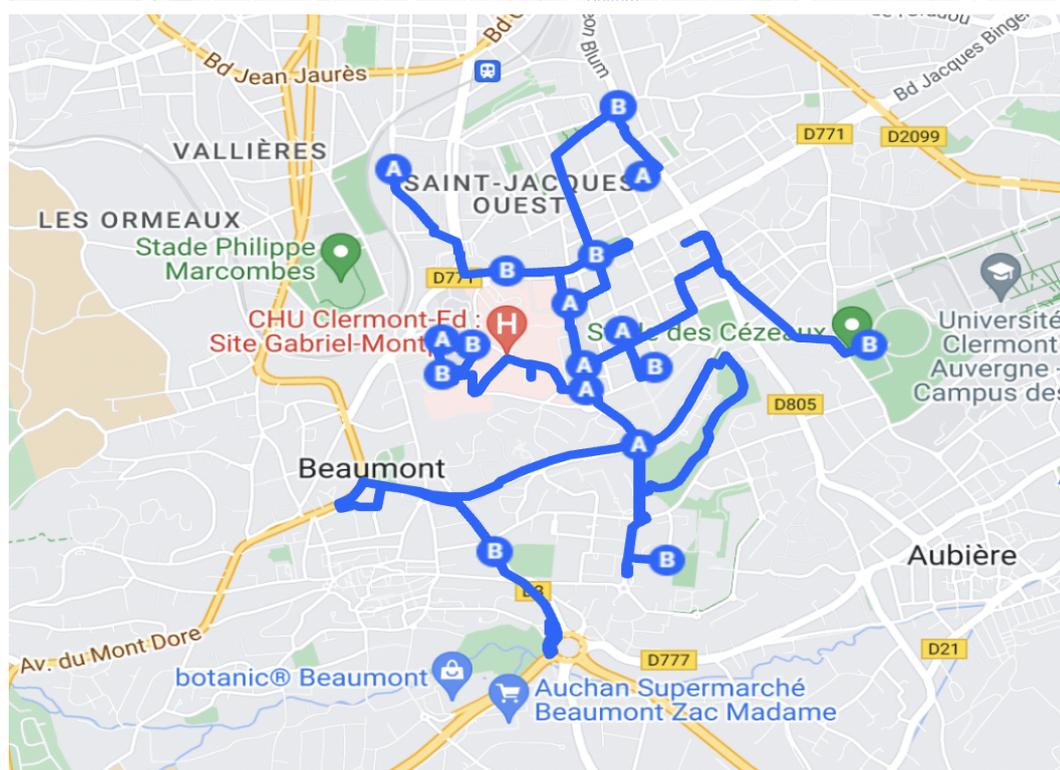
D'autres réseaux de chaleur, gérés par Clervia, Dalkia et Ecla, alimentent respectivement la Gauthière, Royat, Beaumont et la Croix de Neyrat. Ces réseaux utilisent principalement le gaz et la biomasse comme source d'énergie, et permettent d'importantes économies d'émissions de CO<sub>2</sub>.

Enfin, la consommation énergétique de la métropole est répartie entre les transports routiers (28% de la consommation et 29% des émissions de GES), le secteur tertiaire (23% de la consommation et 15% des GES), l'industrie (11% de la consommation et 21% des GES) et le résidentiel (36% de la consommation et 34% des GES).

On a donc une représentation détaillée et complexe de la gestion énergétique de la métropole Clermontoise, soulignant l'importance de la diversification des sources d'énergie et l'impact significatif des réseaux de chaleur dans la réduction des émissions de gaz à effet de serre.

## ❖ Enquêtes et récolte de données :

Les deux photos illustrent le tracé proposé pour le nouveau réseau de chaleur Saint Jacques.



Notre objectif est de comprendre l'impact environnemental et économique du réseau de chaleur du quartier et de créer des visualisations de données pour identifier les forces, faiblesses et caractéristiques du quartier.

La première étape de notre méthodologie a consisté en une enquête sur le terrain. Nous avons effectué un tracé sur le réseau (voir carte) et adopté une approche de porte-à-porte, en interrogeant les résidents et les commerçants du quartier. Nous leur avons demandé de remplir un formulaire qui comprenait des questions sur le type d'énergie utilisé, le type de chauffage (individuel ou collectif), la consommation en kWh par mois, le coût de l'énergie, le nombre de personnes dans le ménage, le type de rénovation récente, la superficie de la maison ou de l'appartement, et l'ancienneté du bâtiment :

- Type d'énergie utilisée : Il est important de connaître le type d'énergie utilisé par chaque ménage et commerce pour comprendre le mix énergétique actuel du quartier. Cela nous aide à évaluer la prévalence des sources d'énergie renouvelables et non renouvelables et à identifier les opportunités de transition vers des sources d'énergie plus durables.
- Chauffage individuel ou collectif : Cette information nous aide à comprendre comment le chauffage est organisé dans le quartier, ce qui est crucial pour l'évaluation de l'efficacité énergétique et le potentiel d'amélioration.
- Consommation en kWh par an: Cette donnée nous donne une idée de la quantité d'énergie consommée par chaque ménage ou commerce, ce qui est essentiel pour évaluer l'efficacité énergétique et l'impact environnemental.
- Facturation par mois : En connaissant les coûts énergétiques mensuels, nous pouvons évaluer l'impact économique des différents types d'énergie et identifier les opportunités de réduction des coûts.
- Nombre de personnes dans le ménage : Cela nous permet d'évaluer la consommation énergétique par personne, ce qui est un indicateur important de l'efficacité énergétique.
- Type de rénovation récente : Cette information nous aide à comprendre comment le quartier évolue en termes d'efficacité énergétique.
- Surface de l'appartement ou de la maison : Cela nous donne une idée de la taille des espaces chauffés, ce qui est crucial pour l'évaluation de l'efficacité énergétique.
- Ancienneté du bâtiment : Les bâtiments plus anciens ont tendance à être moins efficaces sur le plan énergétique que les bâtiments plus récents. Cette information nous permet d'identifier les bâtiments qui pourraient bénéficier le plus d'améliorations en matière d'efficacité énergétique.

Ensuite, nous avons travaillé en étroite collaboration avec les autorités locales, notamment Clermont Métropole. Cela nous a permis d'accéder à des données publiques précieuses qui ont complété les informations recueillies lors de notre enquête. Ces données incluent des informations sur l'infrastructure énergétique du quartier, les projets de rénovation énergétique, et les politiques énergétiques locales.

Une fois les données collectées, nous les avons organisées dans un fichier Excel, les classant par catégorie pour faciliter leur analyse. Nous avons distingué les données de stock et de flux pour mieux comprendre les différents aspects de la consommation énergétique du quartier. Nous avons ensuite mis en place des indicateurs énergétiques pertinents pour évaluer l'efficacité de nos actions et orienter nos décisions.

Nous avons également participé à l'élaboration d'une toile énergétique de type Système d'Information Géographique (SIG) pour visualiser et analyser l'ensemble des

données spatiales. Cela nous a permis de comprendre la répartition géographique de la consommation d'énergie dans le quartier et de repérer les zones où des actions pourraient être menées pour améliorer l'efficacité énergétique.

Cette démarche collaborative et rigoureuse est cruciale pour garantir la qualité de notre étude et nous a permis, grâce à Python, d'élaborer des graphiques visuels pour comprendre les enjeux énergétiques du territoire.

# ANALYSE DE DONNÉE

Cet extrait provient de la base de données

A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	
nom	Adresse	Commune	Type Local	Nombre de logements	Ancienneté du bâti	Type	Type d'énergie	Superficie du logement m²	Consommation totale d'électricité	Consommation énergétique (par an) 2022	Facturation énergétique par an (2022) en euro	
1	logement	13 Paul Pochet Lagaye	Clermont-Ferrand (cp 63000)	Appartement	N/A	N/A	Collectif	Electrique	25	N/A	N/A	600-1000
2	logement	17 bis Boulevard Lafayette	Clermont-Ferrand (cp 63000)	Maison	1	N/A	Individuel	Electrique/Gaz	160	N/A	N/A	1000-1500
3	logement	31 rue Bertheaux	Clermont-Ferrand (cp 63000)	Maison	1	1990	Individuel	Gaz	130	N/A	N/A	>1500
4	logement	25 rue Antonielle Bégon	Clermont-Ferrand (cp 63000)	Maison	1	1920	Individuel	Electrique/Fioul à bois	75	N/A	N/A	600-1000
5	logement	70 rue neuf soleil	Clermont-Ferrand (cp 63000)	Maison	1	1920	Individuel	Gaz	170	N/A	N/A	1000-1500
6	logement	50 rue neuf soleil	Clermont-Ferrand (cp 63000)	Maison	1	1939	Individuel	Gaz	130	N/A	N/A	>1500
7	logement	58 rue neuf soleil	Clermont-Ferrand (cp 63000)	Maison	1	1937	Individuel	Electrique/Gaz	87	N/A	N/A	>1500
8	logement	20 rue Neuf soleil	Clermont-Ferrand (cp 63000)	Maison	1	1920	Individuel	Gaz	70	N/A	N/A	1000-1500
9	logement	60 rue neuf soleil	Clermont-Ferrand (cp 63000)	Appartement	1	1922	Individuel	Gaz	140	N/A	N/A	1000-1500
10	logement	17 Bd Paul Pochet Lagaye	Clermont-Ferrand (cp 63000)	Appartement	N/A	N/A	Collectif	Electrique	30	N/A	N/A	600-1000
11	logement	19 Paul Pochet Lagaye	Clermont-Ferrand (cp 63000)	Maison	1	N/A	Individuel	Electrique	25	N/A	N/A	600-1000
12	logement	Ale du Mugey	Clermont-Ferrand (cp 63000)	Maison	1	1960	Individuel	Electrique	70	N/A	N/A	1000-1500
13	logement	48 Allée de Rochefortville	Clermont-Ferrand (cp 63000)	Maison	1	1960	Individuel	Gaz	90	N/A	N/A	>1500
14	logement	Rue Chevruil	Clermont-Ferrand (cp 63000)	Maison	1	1990	Individuel	Electrique/Gaz	70	N/A	N/A	1000-1500
15	logement	Rue Chevruil	Clermont-Ferrand (cp 63000)	Maison	1	1980	Individuel	Electrique/Gaz	30	N/A	N/A	600-1000
16	logement	24 rue Antonielle Bégon	Clermont-Ferrand (cp 63000)	Maison	1	1925	Individuel	Electrique/Gaz	180	N/A	N/A	<600
17	logement	Rue Chevruil	Clermont-Ferrand (cp 63000)	Maison	1	1980	Individuel	Electrique/Gaz	37	N/A	N/A	1000-1500
18	logement	Rue Alexis Piron	Clermont-Ferrand (cp 63000)	Maison	1	1990	Individuel	Gaz	75	N/A	N/A	>1500
19	logement	Rue Alexis Piron	Clermont-Ferrand (cp 63000)	Maison	1	1980	Individuel	Gaz	110	N/A	N/A	>1500
20	logement	Rue Alexis Piron	Clermont-Ferrand (cp 63000)	Maison	1	1980	Individuel	Electrique/Gaz	70	N/A	N/A	1000-1500
21	logement	Rue Alexis Piron	Clermont-Ferrand (cp 63000)	Maison	1	1980	Individuel	Electrique/Gaz	40	N/A	N/A	600-1000
22	logement	Rue des poutelles	Clermont-Ferrand (cp 63000)	Maison	1	1960	Individuel	Electrique	25	N/A	N/A	<600
23	logement	Rue des poutelles	Clermont-Ferrand (cp 63000)	Maison	1	1933	Individuel	Gaz	120	N/A	N/A	>1500
24	logement	Boulevard Claude Bernard	Clermont-Ferrand (cp 63000)	Maison	1	1930	Individuel	Gaz	67	N/A	N/A	1000-1500
25	logement	Rue Alexandre Ribot	Clermont-Ferrand (cp 63000)	Maison	1	1950	Individuel	Electrique/Gaz	110	N/A	N/A	1000-1500
26	logement	Rue Alexandre Ribot	Clermont-Ferrand (cp 63000)	Maison	1	1950	Individuel	Electrique/Gaz	200	N/A	N/A	>1500
27	logement	Rue Alexandre Ribot	Clermont-Ferrand (cp 63000)	Maison	1	1960	Individuel	Gaz	120	N/A	N/A	>1500
28	logement	Rue Alexandre Ribot	Clermont-Ferrand (cp 63000)	Maison	1	1938	Individuel	Gaz	100	N/A	N/A	1000-1500
29	logement	Rue Alexandre Ribot	Clermont-Ferrand (cp 63000)	Maison	1	1980	Individuel	Electrique	30	N/A	N/A	600-1000
30	logement	Rue Alexandre Ribot	Clermont-Ferrand (cp 63000)	Maison	1	N/A	Individuel	Gaz	60	N/A	N/A	>1500
31	logement	Rue Alexandre Ribot	Clermont-Ferrand (cp 63000)	Maison	1	1980	Individuel	Electrique	45	N/A	N/A	<600
32	logement	Rue des Liondards	Clermont-Ferrand (cp 63000)	Maison	1	1980	Individuel	Electrique	54	N/A	N/A	1000-1500
33	logement	Rue des Liondards	Clermont-Ferrand (cp 63000)	Maison	1	1990	Individuel	Gaz	120	2643	N/A	1000-1500
34	logement	Rue Bertheaux	Clermont-Ferrand (cp 63000)	Maison	1	1970	Individuel	Gaz	142	N/A	N/A	600-1000
35	logement	Rue Bertheaux	Clermont-Ferrand (cp 63000)	Maison	1	1990	Individuel	Electrique/Gaz	30	N/A	N/A	<600
36	logement	Rue Gaspard Monge	Clermont-Ferrand (cp 63000)	Maison	1	1950	Individuel	Fioul	60	N/A	N/A	1000-1500
37	logement	Rue Gaspard Monge	Clermont-Ferrand (cp 63000)	Maison	1	1950	Individuel	Gaz	90	N/A	N/A	>1500
38	logement	35 rue Docteur Vignaud	Clermont-Ferrand (cp 63000)	Maison	1	1980	Individuel	Electrique	24	N/A	N/A	<600
39	logement	23 bis rue Docteur Vignaud	Clermont-Ferrand (cp 63000)	Maison	1	1980	Individuel	Electrique	60	N/A	N/A	>1500
40	logement	37 rue Docteur Vignaud	Clermont-Ferrand (cp 63000)	Maison	1	1932	Individuel	Gaz	72	N/A	N/A	1000-1500
41	logement	37 rue Alexis Piron	Clermont-Ferrand (cp 63000)	Maison	1	1939	Individuel	Electrique	60	N/A	N/A	1000-1500
42	logement	39 rue Alexis Piron	Clermont-Ferrand (cp 63000)	Maison	1	1999	Individuel	Gaz	140	N/A	N/A	>1500
43	logement	18 rue Docteur Vignaud	Clermont-Ferrand (cp 63000)	Maison	1	1960	Individuel	Gaz	200	N/A	N/A	>1500
44	logement	120 avenue Leon Blum	Clermont-Ferrand (cp 63000)	Maison	1	1980	Individuel	Electrique	25	N/A	2600	<600
45	logement	10 rue Antonielle Bégon	Clermont-Ferrand (cp 63000)	Maison	1	1980	Individuel	Gaz	148	N/A	N/A	>1500
46	logement	12 rue des Neuf soleil	Clermont-Ferrand (cp 63000)	Maison	1	1990	Individuel	Gaz	70	N/A	N/A	N/A
47	logement	20 Bd Paul Pochet Lagaye	Clermont-Ferrand (cp 63000)	Appartement	N/A	N/A	Collectif	Electrique	20	N/A	N/A	N/A
48	logement	17 (appart.38) Bd Paul Pochet Lagaye	Clermont-Ferrand (cp 63000)	Appartement	N/A	N/A	Collectif	Electrique	25	N/A	N/A	N/A
49	logement	17 Bd Paul Pochet Lagaye	Clermont-Ferrand (cp 63000)	Appartement	N/A	N/A	Collectif	Electrique	20	N/A	N/A	N/A
50	Tabac Pressat La Magliato	2 Rue Henri Pourat	Clermont-Ferrand (cp 63000)	Autres	N/A	N/A	Tabac/Bar	Electrique	N/A	N/A	N/A	N/A
51	Bar tabac Courthouix	67 Rue Alexandre Ribot	Clermont-Ferrand (cp 63000)	Autres	N/A	N/A	Tabac/Bar	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A
52	Pharmacie Durel	1 Rue Henri Pourat	Clermont-Ferrand (cp 63000)	Autres	N/A	N/A	Pharmacies/Laboratoire	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A
53	Pharmacie des Liondards	30 Rue des Liondards	Clermont-Ferrand (cp 63000)	Autres	N/A	N/A	Pharmacies/Laboratoire	Electrode	N/A	N/A	N/A	N/A
54	Pharmacie des Neuf Solets	92 Av. Leon Blum	Clermont-Ferrand (cp 63000)	Autres	N/A	N/A	Pharmacies/Laboratoire	Electrode	N/A	N/A	N/A	N/A
55	Laboratoire Micaëlle Mayrat	7 Pl. Henri Durand	Clermont-Ferrand (cp 63000)	Autres	N/A	N/A	Pharmacies/Laboratoire	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A
56	Ecole Primaire Jean Macé	14 Rue Bertheaux	Clermont-Ferrand (cp 63000)	Autres	N/A	N/A	Etablissements scolaires	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A
57	Ecole Maternelle et primaire Jean Jaurès	14 Rue Abert Mallet	Clermont-Ferrand (cp 63000)	Autres	N/A	N/A	Etablissements scolaires	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A
58	IFAP (Institut de Formation)	1 Rue des Piais	Clermont-Ferrand (cp 63000)	Autres	N/A	N/A	Etablissements scolaires	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A
59	Faculté de Médecine	1 Bd Wilson Churchill	Clermont-Ferrand (cp 63000)	Autres	N/A	N/A	Etablissements scolaires	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A
60	La Rotonde	26 Av. Leon Blum	Clermont-Ferrand (cp 63000)	Autres	N/A	N/A	Etablissements scolaires	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A
61	Prepa Medischool	41 Bd Claude Bernard	Clermont-Ferrand (cp 63000)	Autres	N/A	N/A	Etablissements scolaires	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A
62	Wan Kabab	16 Rue George Risler	Clermont-Ferrand (cp 63000)	Autres	N/A	N/A	Restaurants	Electrode + Gaz	N/A	N/A	N/A	N/A
63	Ala Tacos	15 Rue des Piais	Clermont-Ferrand (cp 63000)	Autres	N/A	N/A	Restaurants	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A
64	La Relige Gourmand 2	90 Av. Leon Blum	Clermont-Ferrand (cp 63000)	Autres	N/A	N/A	Restaurants	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A

La base de données étudiée contient 666 entrées, représentant des bâtiments résidentiels. Elle est composée de 12 colonnes qui fournissent différentes informations sur ces bâtiments.

La colonne "nom" contient les noms des individus ou des bâtiments. La colonne "Adresse" indique l'adresse de chaque bâtiment, tandis que la colonne "Commune" donne la commune où se trouve chaque bâtiment.

La colonne "Type Local" spécifie le type de local ou de bâtiment étudié. On retrouve également la colonne "Nombre de logements" qui indique le nombre de logements présents dans chaque bâtiment. Cependant, il convient de noter que cette colonne comporte quelques valeurs manquantes.

L'ancienneté des bâtiments est renseignée dans la colonne "Ancienneté du bâti", exprimée en années. Elle permet d'évaluer la durée depuis la construction de chaque bâtiment.

L'une des informations clés de cette base de données concerne le type de chauffage utilisé dans chaque bâtiment, renseigné dans la colonne "Type". Les différents types de chauffage incluent l'électrique, le gaz, le fioul, le chauffage urbain, ainsi que des combinaisons de ces sources d'énergie. La colonne "Type d'énergie" précise le type d'énergie utilisé pour le chauffage, correspondant aux types de chauffage mentionnés.

D'autres colonnes de la base de données incluent des informations sur la superficie des logements, la consommation totale d'électricité, la consommation énergétique annuelle de 2022 et la facturation énergétique annuelle en euros. Cependant, ces colonnes comportent également un certain nombre de valeurs manquantes.

La base de données comprend un ensemble varié de variables qui fournissent des informations détaillées sur les logements. Ces informations peuvent être utilisées pour effectuer diverses analyses et obtenir des insights significatifs. Voici une analyse approfondie de certaines de ces variables clés :

La variable "Type Local" permet de classer les logements en quatre catégories distinctes : "Appartement", "Maison", "Autres" et "Mixte". Cette variable est importante car elle peut révéler des différences significatives dans la structure et l'utilisation des logements. Par exemple, il peut être intéressant d'explorer si certains types de logements ont tendance à consommer plus d'énergie que d'autres.

La variable "Superficie du logement m<sup>2</sup>" fournit des informations sur la taille de chaque logement en mètres carrés. Cette variable peut être utilisée pour analyser la relation entre la taille des logements et leur consommation énergétique. Par exemple, il peut être pertinent d'étudier si les logements plus grands ont tendance à consommer plus d'énergie que les logements plus petits.

**Cet extrait provient du code utilisé pour le nettoyage et l'analyse de donnée :**

```
data[data["Type"] == "Collectif"]["Type"] = 'Collectif'
data[data["Type"] == "Individuel"]["Type"] = 'Individuel'
```

Python

```
<ipython-input-37-eae35616b0d4>:1: SettingWithCopyWarning:
A value is trying to be set on a copy of a slice from a DataFrame.
Try using .loc[row_indexer,col_indexer] = value instead

See the caveats in the documentation: https://pandas.pydata.org/pandas-docs/stable/user\_guide/indexing.html#returning-a-view-versus-a-copy
data[data["Type"] == "Collectif"]["Type"] = 'Collectif'
```

```
<ipython-input-37-eae35616b0d4>:2: SettingWithCopyWarning:
A value is trying to be set on a copy of a slice from a DataFrame.
Try using .loc[row_indexer,col_indexer] = value instead

See the caveats in the documentation: https://pandas.pydata.org/pandas-docs/stable/user\_guide/indexing.html#returning-a-view-versus-a-copy
data[data["Type"] == "Individuel"]["Type"] = 'Individuel'
```

```
data.columns
```

Python

```
Index(['nom', 'Adresse', 'Commune', 'Type Local', 'Nombre de logements',
      'Ancienneté du bâti', 'Type', 'Type d'énergie',
      'Superficie du logement m²', 'Consommation totale d'électricité',
      'Consommation énergétique (par an) 2022',
      'Facturation énergétique par an 2022(en euro)'],
      dtype='object')
```

```
for col in data.columns:
    if col != "Consommation énergétique (par an) 2022" :
        data[col] = data[col].fillna('non renseigné')
```

Python

```
a = data["Type"].unique()
a
```

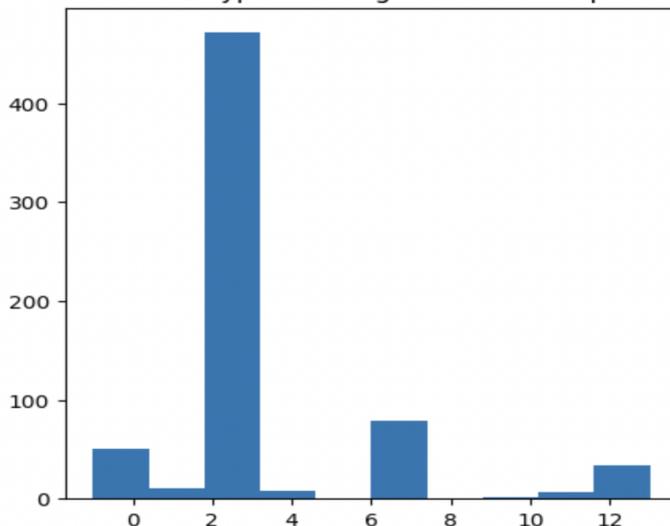
**L'utilisation de ce code Python** a joué un rôle essentiel dans notre projet, car il nous a permis d'effectuer le nettoyage et l'analyse des données de notre base de données. Grâce à ce code, nous avons pu explorer et comprendre en profondeur les différentes colonnes de notre base, ce qui nous a fourni des informations précieuses pour notre simulation.

L'une des principales motivations derrière l'élaboration de ce code était de nettoyer les données en éliminant les valeurs manquantes, les doublons et les incohérences. En effectuant cette étape cruciale, nous avons pu obtenir des données fiables et de haute qualité, sur lesquelles nous pouvions baser nos analyses et nos conclusions.

En utilisant les bibliothèques et les fonctions appropriées du langage Python, nous avons pu représenter ces données sous forme de graphiques et de visualisations significatifs. Ces graphiques nous ont permis de mettre en évidence les tendances, les corrélations et les différences entre les différentes variables, ce qui a renforcé notre compréhension des caractéristiques et des dynamiques de notre échantillon.

L'importance de ce code réside dans le fait qu'il nous a fourni une base solide pour notre simulation. En nettoyant et en analysant les données, nous avons pu identifier les facteurs clés qui influencent les résultats de notre simulation. Cela nous a permis d'obtenir des informations précises sur l'efficacité énergétique, les économies potentielles, les réductions d'émissions de CO2 et les avantages économiques associés à l'implémentation du réseau de chaleur.

distribution des types d'énergies consommé par individu



Le graphe représente la répartition des sources d'énergie utilisées dans les logements, avec les catégories suivantes : électrique (0), électrique/gaz (1), gaz (2), électrique/poêle à bois (3), fioul (4), électrique (5), non spécifié (6), électricité (7), électricité + gaz (8), fioul + électricité (9), électricité (10), chauffage urbain (11), mixte (gaz + élec) (12) et autre (13).

Dans ce graphe et dans les suivants, les valeurs non-renseignées sont remplacées par 0.

**L'analyse complète des données sur les différents types de chauffage** révèle plusieurs informations intéressantes. Tout d'abord, le chauffage au gaz est clairement le plus répandu dans l'échantillon, avec 471 individus (environ 69,6%) l'adoptant. Cette prévalence peut s'expliquer par la disponibilité et la rentabilité du gaz comme source d'énergie pour le chauffage domestique.

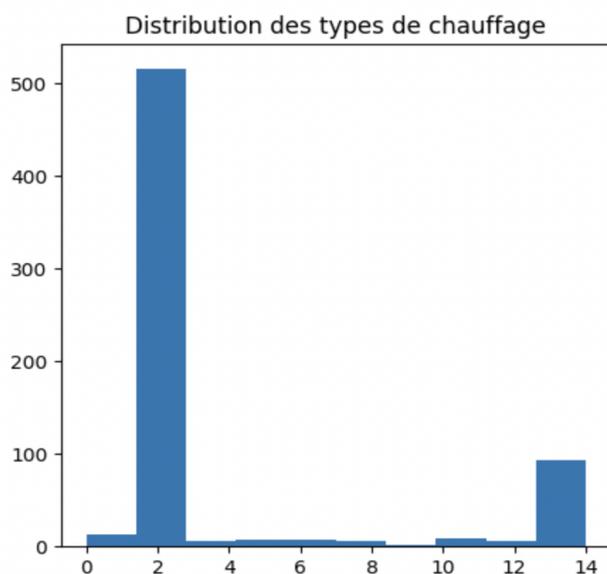
En revanche, le chauffage électrique est moins fréquent, avec seulement 16 individus (environ 2,4%) l'utilisant comme principale source de chaleur. Cela peut être dû à des facteurs tels que le coût potentiellement plus élevé de l'électricité par rapport au gaz, ainsi qu'à des considérations environnementales liées à la production d'électricité.

Parmi les autres types de chauffage, nous observons des utilisations moins répandues. Par exemple, le chauffage électrique combiné à un poêle à bois n'est utilisé que par un seul individu. De même, le chauffage au fioul est choisi par seulement 8 individus. Ces types de chauffage moins courants peuvent être influencés par des facteurs tels que la disponibilité des ressources (comme le bois ou le fioul) ou les préférences individuelles des utilisateurs.

Il convient de noter que 35 individus n'ont pas renseigné le type de chauffage qu'ils utilisent, ce qui représente environ 5,2% de l'échantillon. Ces données manquantes peuvent avoir un impact sur l'analyse et la compréhension complètes des tendances de chauffage dans la population étudiée. Il est donc important de prendre en compte cette lacune lors de l'interprétation des résultats.

Une analyse plus approfondie pourrait être effectuée pour étudier les facteurs qui influencent le choix des différents types de chauffage. Cela pourrait inclure l'examen des caractéristiques socio-économiques des individus, telles que le niveau de revenu ou le type de logement, ainsi que des facteurs géographiques tels que la localisation et le climat. Une telle analyse pourrait fournir des informations précieuses pour les décideurs politiques et les fournisseurs d'énergie afin de promouvoir des solutions de chauffage durables, efficaces et économiques.

11



Le graphe représente la répartition des types de logement ou établissements, avec les catégories suivantes:

collectif (0), individuel (1), individuel (2), tabacs/bars (3), pharmacies/laboratoires (4), établissements scolaires (5), restaurations (6), boulangeries (7), boucheries (8), supermarchés (9), résidence étudiante (10), banque (11), autre (12), collectif (13) et mixte (base + appoint) (14)

## ❖ L'analyse complète des données sur les différents types de chauffage révèle les informations suivantes :

Parmi les individus étudiés, 5 d'entre eux (environ 0,7%) utilisent un chauffage collectif, tandis que 8 individus (environ 1,2%) optent pour un chauffage individuel. Il est intéressant de noter que 516 individus (environ 76,9%) ont également été répertoriés comme utilisant un chauffage individuel. Ce chevauchement entre les catégories "Individuel" et "Individuel" peut être dû à une erreur de saisie ou à une différence de classification.

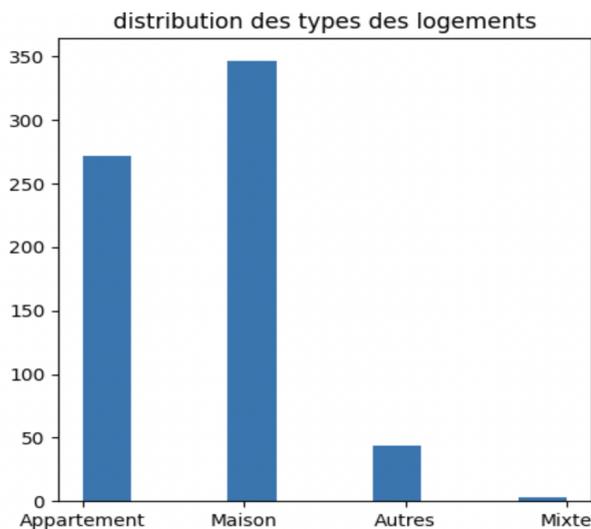
D'autre part, nous constatons que certains types de bâtiments ou d'établissements utilisent des types de chauffage spécifiques. Par exemple, 2 individus (environ 0,3%) associés à des tabacs/bars ont été répertoriés comme utilisant un type de chauffage spécifique à leur secteur d'activité. De même, 4 individus (environ 0,6%) associés à des pharmacies/laboratoires ont été répertoriés avec un type de chauffage particulier. Cette tendance se poursuit avec d'autres types d'établissements, tels que les établissements scolaires (7 individus), les restaurants (8 individus), les boulangeries (3 individus), les boucheries (3 individus), les supermarchés (2 individus), les résidences étudiantes (3 individus), les banques (6 individus), et autres catégories (6 individus).

En outre, il est important de noter que 90 individus (environ 13,4%) ont été répertoriés comme utilisant un chauffage collectif. Ce type de chauffage est souvent associé aux bâtiments résidentiels ou aux complexes d'appartements où plusieurs unités sont chauffées par un seul système central. Ces chiffres démontrent la diversité des types de chauffage utilisés dans l'échantillon étudié.

En conclusion, cette analyse descriptive des données sur les différents types de chauffage révèle une diversité de méthodes de chauffage utilisées dans l'échantillon étudié. Le chauffage au gaz est le plus couramment utilisé, suivi du chauffage électrique. D'autres types de chauffage, tels que le fioul, le chauffage urbain et les systèmes mixtes, sont également présents mais moins répandus.

De plus, il est intéressant de noter que certains types d'établissements ont des préférences spécifiques en matière de chauffage, ce qui suggère une certaine adaptation aux besoins et aux contraintes de chaque secteur. Cependant, il est important de prendre en compte les cas où les données sont mal renseignées ou mal classées, car cela peut affecter la fiabilité des résultats.

Cette analyse descriptive des données constitue une première étape pour mieux comprendre la répartition des types de chauffage dans cet échantillon spécifique. Des analyses plus avancées pourraient être effectuées pour explorer les relations entre les types de chauffage et d'autres variables, telles que la consommation énergétique, la superficie du logement ou le coût de l'énergie, afin de fournir des informations plus approfondies et utiles pour les décisions futures en matière d'énergie et de politique environnementale.



Le graphique représentant la répartition des types de logements dans le quartier Saint-Jacques est un élément crucial de notre étude. En illustrant la proportion de maisons, d'appartements et d'autres types de bâtiments, nous obtenons une vision précise de la composition du quartier.

L'analyse de la répartition des types de logements dans le quartier Saint-Jacques revêt une grande importance pour notre étude sur le réseau de chaleur. Le graphique représentant cette répartition nous offre une vision claire de la composition du quartier en termes de logements, notamment les maisons, les appartements et les autres types de bâtiments. Cette information est cruciale pour comprendre les besoins énergétiques spécifiques de la région.

En observant la proportion de chaque type de logement, nous pouvons commencer à évaluer les différentes demandes énergétiques qui existent dans le quartier. Par exemple, les maisons individuelles peuvent avoir des profils de consommation d'énergie distincts par rapport aux appartements, en raison de leur taille, de leur conception ou du nombre de résidents. De même, les bâtiments non résidentiels, tels que les commerces ou les bureaux, peuvent avoir des besoins énergétiques spécifiques.

Lors de notre enquête de porte à porte, nous avons constaté que les maisons du quartier Saint-Jacques ne seraient pas raccordées au réseau de chaleur. Cette constatation peut être décevante étant donné le nombre significatif de maisons représentées dans le tracé du nouveau réseau de chaleur. Il est donc intéressant de proposer un scénario alternatif où les maisons seraient raccordées au réseau de chaleur, afin qu'elles puissent bénéficier des avantages offerts par ce système.

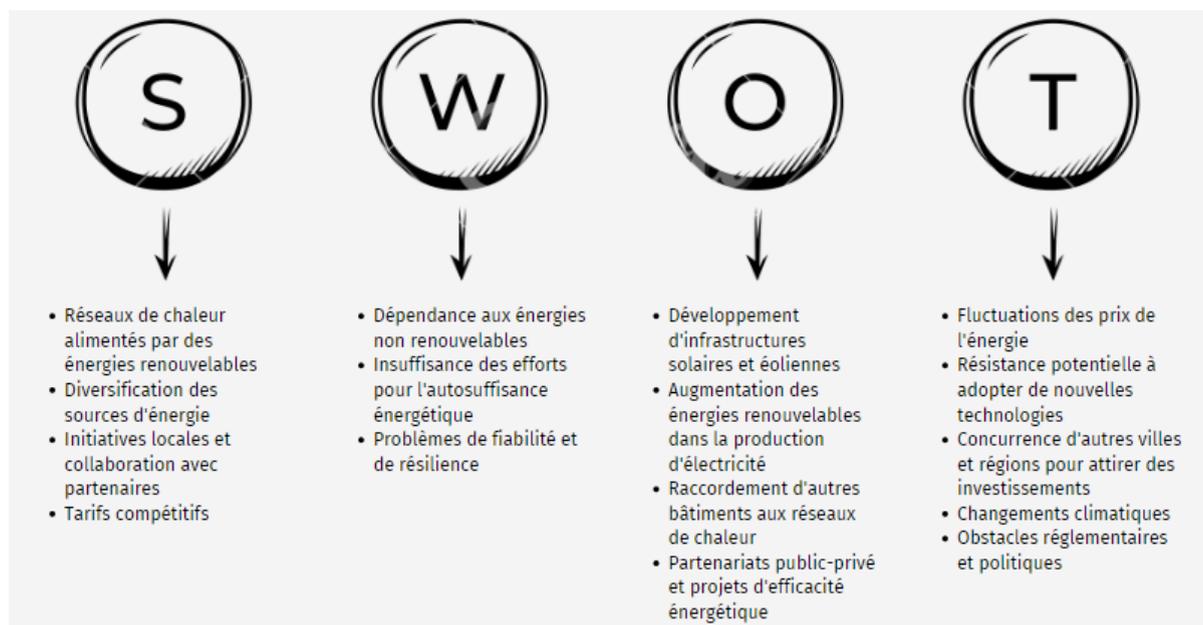
En incluant les maisons dans le réseau de chaleur, nous pourrions optimiser l'utilisation de cette infrastructure énergétique. Les maisons pourraient profiter des économies d'énergie, de la réduction des émissions de CO2 et des autres avantages liés à l'utilisation du réseau de chaleur. De plus, cela permettrait d'assurer une transition énergétique plus globale dans le quartier Saint-Jacques, en intégrant tous les types de logements dans une approche cohérente et durable.

Proposer un scénario où les maisons seraient raccordées au réseau de chaleur nécessiterait une évaluation plus approfondie des coûts, des infrastructures nécessaires et des impacts potentiels. Il serait également important de prendre en compte les préférences et les besoins des résidents concernés. Cependant, cela pourrait constituer une opportunité

intéressante pour la Métropole Clermontoise de promouvoir une solution énergétique plus complète et de maximiser les avantages du réseau de chaleur dans le quartier Saint-Jacques.

En conclusion, l'analyse de la répartition des types de logements dans le quartier Saint-Jacques, notamment à travers le graphique représentant cette répartition, nous aide à comprendre les besoins énergétiques spécifiques du quartier. En envisageant l'inclusion des maisons dans le réseau de chaleur, nous pourrions optimiser l'efficacité du système et proposer une solution énergétique plus globale et avantageuse pour l'ensemble des habitants du quartier.

### ❖ Réalisation d'une matrice SWOT du territoire :



L'analyse SWOT de la situation énergétique à Clermont-Ferrand révèle un tableau à la fois prometteur et délicat.

Les forces résident principalement dans l'existence de plusieurs réseaux de chaleur, y compris le réseau progressivement mis en place à Saint-Jacques, qui sont alimentés par des énergies renouvelables et de récupération, contribuant ainsi à la réduction des émissions de gaz à effet de serre (GES). De plus, la ville a réussi à diversifier ses sources d'énergie par l'utilisation de la biomasse, du bois et de l'énergie éolienne, ce qui réduit sa dépendance aux énergies fossiles. Ces efforts sont soutenus par des initiatives locales visant à promouvoir les énergies renouvelables et la réduction de la consommation d'énergie. En outre, la collaboration avec des partenaires tels que Dalkia, ENGIE Solutions et l'ADEME a permis de financer et de mettre en œuvre des projets énergétiques, tout en maintenant des tarifs compétitifs pour les consommateurs.

Cependant, il existe aussi des faiblesses, comme une dépendance persistante à l'égard des énergies non renouvelables, malgré les efforts de diversification. En outre, les efforts actuels pour atteindre l'autosuffisance énergétique à Clermont-Ferrand sont

insuffisants. Enfin, des problèmes de fiabilité et de résilience du réseau pourraient se poser, notamment en cas de conditions météorologiques extrêmes ou de pannes d'équipement.

Malgré ces défis, Clermont-Ferrand dispose de nombreuses opportunités. La ville peut tirer parti de ses ressources naturelles pour développer davantage d'infrastructures pour l'énergie solaire et éolienne. Elle a également la possibilité d'augmenter la part des énergies renouvelables dans la production d'électricité et d'étudier la faisabilité de raccorder davantage de bâtiments, notamment commerciaux et industriels, aux réseaux de chaleur. En outre, des partenariats public-privé pourraient être explorés pour financer et mettre en œuvre des projets d'efficacité énergétique et de rénovation des bâtiments.

Cependant, certaines menaces persistent. Les fluctuations des prix de l'énergie et la dépendance aux importations d'énergies non renouvelables pourraient affecter l'économie locale. Une résistance potentielle de la part des citoyens et des entreprises à adopter de nouvelles technologies ou à modifier leurs habitudes de consommation d'énergie pourrait également être un frein. De plus, la ville fait face à la concurrence d'autres villes et régions pour attirer des investissements et des projets dans le secteur de l'énergie. Enfin, les changements climatiques et les obstacles réglementaires et politiques potentiels pourraient avoir un impact sur la mise en œuvre de projets d'énergie renouvelable et d'efficacité énergétique.

En somme, Clermont-Ferrand présente des signes encourageants dans sa transition énergétique, mais des obstacles demeurent et des défis restent à relever. Il sera crucial pour la ville de capitaliser sur ses forces et opportunités, tout en s'attaquant aux faiblesses et en anticipant les menaces. Des mesures claires et ciblées, soutenues par des partenariats stratégiques et l'engagement de la communauté, seront essentielles pour atteindre les objectifs de l'Horizon 2050 et assurer une transition énergétique durable et résiliente.

## ❖ Benchmarking = Comparaison avec un ou deux territoires comparables :

Nous avons choisis pour le benchmarking de prendre un territoire spécialisé dans la conception de réseaux de chaleurs (Copenhague, Danemark), puis de prendre un deuxième territoire par la suite présentant également des similitudes avec Clermont Métropole mais nous allons nous concentrer sur les sources d'énergie et l'indépendance du territoire en matière énergétique).

La ville de Copenhague au Danemark est reconnue comme un chef de file mondial en matière de réseaux de chaleur. Voici une analyse comparative entre le réseau de chaleur de Copenhague et celui de Clermont Métropole :

- Types de sources d'énergie : Copenhague s'appuie fortement sur la chaleur de récupération provenant de la production d'électricité, des déchets municipaux et des industries locales pour alimenter son réseau de chaleur. Cela contraste avec Clermont Métropole, où la biomasse, le gaz naturel et le fioul sont les principales sources d'énergie. Les deux territoires ont cependant en commun l'utilisation des énergies renouvelables.

- Efficacité et fiabilité du réseau : Le réseau de chaleur de Copenhague est très efficace et fiable, desservant environ 98% de la ville. Les pannes sont rares et la distribution de la chaleur est optimisée grâce à une technologie avancée. Par rapport à cela, Clermont Métropole a encore des opportunités d'amélioration, notamment en ce qui concerne l'extension du réseau pour desservir un plus grand nombre de bâtiments et l'optimisation de l'efficacité.

- Politiques et réglementations : Le Danemark a une longue tradition de politiques favorables aux réseaux de chaleur, qui sont soutenues par des réglementations nationales. Cela a facilité l'expansion du réseau de chaleur de Copenhague. À Clermont Métropole, il existe également un soutien politique pour les réseaux de chaleur, mais il peut être nécessaire d'examiner comment renforcer davantage ce soutien pour favoriser l'expansion et l'optimisation du réseau.

- Acceptation et satisfaction des consommateurs : À Copenhague, les consommateurs sont généralement satisfaits du réseau de chaleur, qui offre des tarifs compétitifs et une grande fiabilité. À Clermont Métropole, l'acceptation par les consommateurs est également élevée, mais il pourrait être bénéfique d'étudier plus en détail comment améliorer la satisfaction des consommateurs.

- Défis et obstacles : Copenhague a dû faire face à des défis tels que l'intégration de sources d'énergie renouvelable variables dans le réseau et la gestion des déchets de la production d'énergie. À Clermont Métropole, des défis similaires peuvent se poser, notamment en ce qui concerne l'intégration de sources d'énergie renouvelable et la gestion de la fiabilité du réseau.

**En résumé** : La capitale danoise a le plus grand réseau de chauffage urbain au monde, desservant 98% des bâtiments de Copenhague. Le système est en train d'être rendu neutre en carbone en substituant les combustibles fossiles par de la biomasse. Le plan de la ville est d'atteindre la neutralité carbone pour ce système d'ici 2025. Les efforts comprennent l'amélioration des anciennes centrales thermiques alimentées au charbon pour qu'elles soient alimentées par des granulés de bois, la construction d'une nouvelle centrale à copeaux de bois, et l'utilisation de grandes pompes à chaleur pour récupérer la chaleur de l'eau usée, de l'eau potable, de la chaleur résiduelle industrielle, et des puits géothermiques. Le plan prévoit également de réduire la consommation d'énergie dans les bâtiments et les logements grâce à une surveillance à distance de l'utilisation de l'énergie par les clients. Ces efforts devraient permettre de réduire les émissions de CO<sub>2</sub> de 500 000 tonnes par an d'ici 2025

(source: <https://www.c40.org/case-studies/cities100-copenhagen-carbon-neutral-district-heat-ing/>)

En nous inspirant de l'expérience de Copenhague, voici quelques recommandations pour Clermont Métropole :

Comme Copenhague, Clermont Métropole pourrait envisager de diversifier davantage ses sources d'énergie pour le réseau de chaleur. Cela pourrait inclure l'exploration de la chaleur de récupération provenant de sources locales, telles que l'industrie et la production d'électricité.

De plus, l'optimisation de la technologie du réseau de chaleur peut améliorer l'efficacité et la fiabilité du système. Clermont Métropole pourrait envisager d'adopter des technologies similaires à celles utilisées à Copenhague pour l'extension potentielle de son réseau de chaleur afin d'optimiser la distribution de la chaleur et minimiser les pannes. L'expérience de Copenhague montre que la satisfaction des consommateurs peut être élevée avec un réseau de chaleur fiable et économique. Clermont Métropole devrait continuer à se concentrer sur la fourniture d'un service de qualité à ses consommateurs et à chercher des moyens d'améliorer encore la satisfaction des consommateurs.

Enfin, Clermont Métropole peut tirer des leçons des défis auxquels Copenhague a été confrontée, tels que l'intégration de sources d'énergie renouvelable variables et la gestion des déchets énergétiques. En planifiant à l'avance pour ces défis, Clermont Métropole peut être mieux préparée pour les gérer efficacement.

Pour un benchmarking axé sur l'utilisation des sources d'énergie et le pourcentage d'énergies renouvelables dans le mix énergétique, il serait intéressant de regarder du côté de la Suède, et plus précisément de la ville de Växjö.

Växjö est souvent surnommée "la ville la plus verte d'Europe" grâce à son engagement fort et continu envers la durabilité et les énergies renouvelables. La ville a adopté une politique visant à devenir entièrement exempte de combustibles fossiles d'ici 2030 et a déjà réalisé des progrès significatifs à cet égard.

La majorité de l'énergie utilisée à Växjö provient de sources renouvelables, en grande partie grâce à l'utilisation de la biomasse pour la production de chaleur et d'électricité. La ville possède une centrale de cogénération alimentée par des déchets de bois locaux, ce qui permet de produire de la chaleur pour le réseau de chaleur de la ville et de l'électricité pour le réseau national.

Cela illustre comment une ville peut exploiter les ressources locales pour réduire sa dépendance aux combustibles fossiles et augmenter la part des énergies renouvelables dans son mix énergétique. Cela pourrait offrir des leçons précieuses pour Clermont Métropole alors qu'elle cherche à diversifier ses sources d'énergie et à augmenter la part des énergies renouvelables dans son mix énergétique.

### **Voici quelques recommandations :**

- Exploiter les ressources locales : Comme Växjö, Clermont Métropole pourrait chercher à maximiser l'utilisation de ses ressources locales pour la production d'énergie. Cela pourrait impliquer l'utilisation de la biomasse comme pour le réseau de chaleur de Saint Jacques ou d'autres sources d'énergie renouvelable disponibles localement (thermique etc..).

- Adopter des objectifs ambitieux : L'engagement de Växjö à devenir entièrement exempt de combustibles fossiles a servi de moteur pour l'innovation et le changement. Clermont Métropole pourrait envisager d'adopter des objectifs similaires (éliminer toutes émissions de gaz à effet de serre).

- Promouvoir la cogénération : La centrale de cogénération de Växjö est un exemple de la manière dont l'énergie peut être produite de manière plus efficace. En produisant à la fois de la chaleur et de l'électricité, la cogénération peut aider à maximiser l'utilisation de l'énergie et à réduire les émissions de gaz à effet de serre.

- Investir dans les infrastructures : Pour atteindre ses objectifs, Växjö a investi dans des infrastructures énergétiques durables, notamment son réseau de chaleur. Clermont Métropole pourrait également envisager d'investir davantage dans ses propres infrastructures pour soutenir son passage à un mix énergétique plus durable.

- Engager les citoyens : Växjö a travaillé pour engager ses citoyens dans ses efforts de durabilité, par exemple en fournissant des informations sur les économies d'énergie et en offrant des incitations à l'adoption de comportements plus durables. Clermont Métropole pourrait envisager des moyens similaires d'engager ses citoyens et de promouvoir un mode de vie plus durable.



(Source : <https://www.demainlaville.com/vaxjo-ville-verte-eu>)

## Partie 2 : Structure du modèle

### ❖ Description du cld global :

Le Diagramme de boucle causale (CLD) que nous avons développé se concentre sur l'énergie et les acteurs impliqués à Clermont-Ferrand, en mettant particulièrement l'accent sur les réseaux de chaleur. L'objectif principal de ce diagramme est de comprendre le fonctionnement de l'énergie dans la région. Il est essentiel de noter que de nombreux facteurs influencent ce système et que bon nombre de ses influences proviennent de l'extérieur de la métropole.

L'énergie est un domaine complexe qui peut être décomposé en plusieurs sous-groupes, chacun étant interdépendant et répondant à des besoins spécifiques des habitants et des acteurs de Clermont-Métropole. Dans notre quête d'un territoire à énergie positive, nous avons envisagé plusieurs solutions pour réduire les émissions de gaz à effet de serre, notamment dans le domaine du chauffage. Parmi ces solutions, nous avons étudié la géothermie, l'éolien, la récupération de chaleur sur eau grise, mais c'est l'implantation et l'extension des réseaux de chaleur qui ont été retenues.

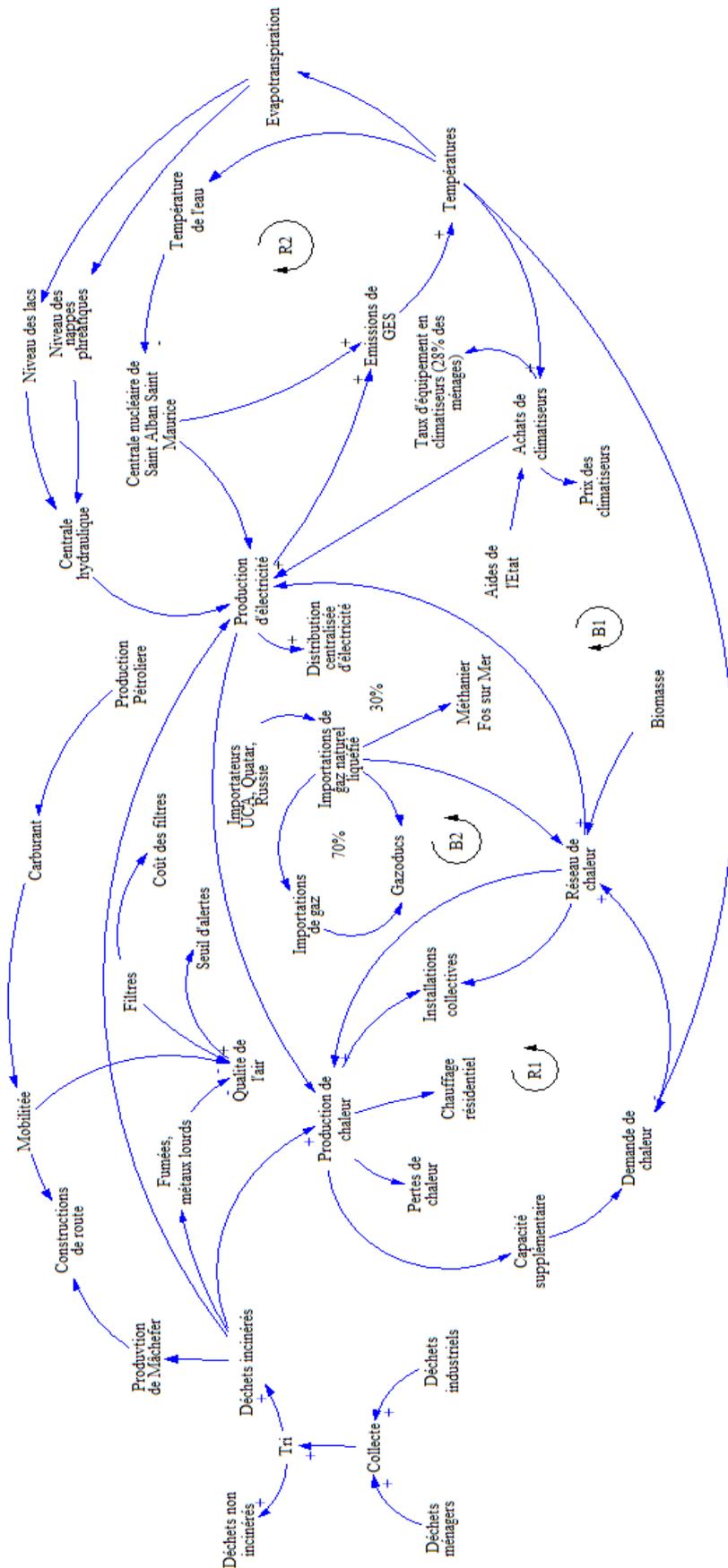
Le but de notre diagramme est de visualiser l'impact de la création du nouveau réseau de chaleur sur le quartier de Saint-Jacques. En mettant en place cette nouvelle infrastructure publique, nous cherchons à évaluer son influence sur plusieurs éléments clés tels que les émissions de gaz à effet de serre, la production d'électricité, la production de chaleur et l'incinérateur de déchets.

Il est important de souligner que les réseaux de chaleur contribuent à la réduction des émissions de gaz à effet de serre en fournissant une alternative plus propre et plus efficace au chauffage traditionnel. En utilisant des sources de chaleur renouvelables ou de récupération, ces réseaux permettent de réduire la dépendance aux combustibles fossiles et de favoriser une transition énergétique durable.

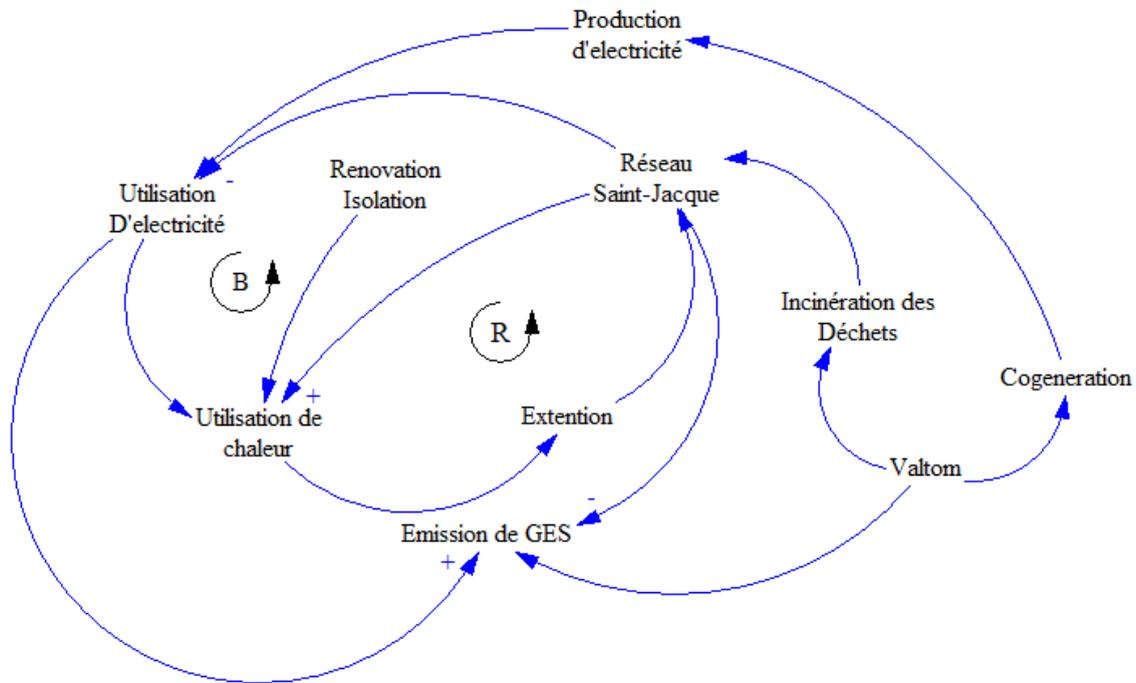
En examinant les interconnexions entre les différents éléments du système énergétique de Clermont-Ferrand, nous pouvons comprendre les rétroactions et les influences mutuelles. Par exemple, l'incinérateur de déchets peut fournir de la chaleur pour le réseau de chaleur, réduisant ainsi les besoins en production de chaleur à partir de sources moins durables. De même, la production d'électricité peut être optimisée en utilisant la chaleur résiduelle générée par les centrales thermiques du réseau de chaleur.

En conclusion, notre Diagramme de boucle causale (CLD) permet de visualiser et de comprendre les interactions complexes entre les différents acteurs et éléments du système énergétique de Clermont-Ferrand. Il met en évidence l'importance des réseaux de chaleur dans la réduction des émissions de gaz à effet de serre et dans la promotion d'une transition énergétique durable. En utilisant cette représentation visuelle, nous sommes en mesure d'évaluer les effets potentiels de la création du nouveau réseau de chaleur sur le quartier Saint-Jacques et de prendre des décisions éclairées pour un avenir énergétique plus responsable.

# ❖ CLD global

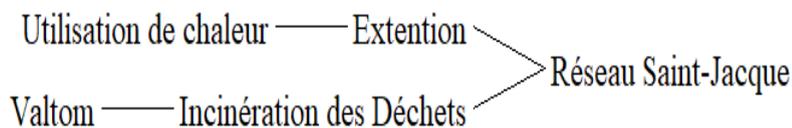


Afin de rendre le réseau de chaleur de Saint-Jacques plus appréhendable et compréhensible, nous avons réalisé un second Diagramme de boucle causale (CLD) en mettant le focus exclusivement sur ce réseau spécifique.



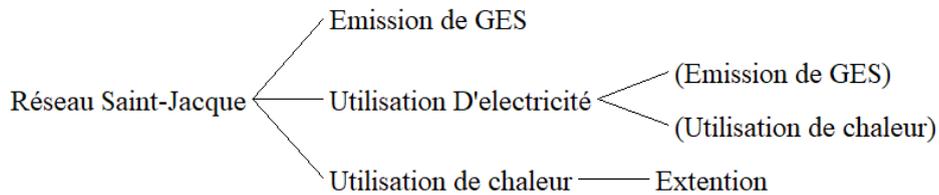
### ❖ Explication des arbres

L'extension du réseau de chaleur de Saint-Jacques sera alimentée par l'incinérateur de Valtom, une installation de traitement des déchets. Avant cette extension, une partie du réseau existant sur Saint-Jacques était alimentée par trois chaufferies distinctes. Dans le cadre de l'extension, une partie de ce réseau préexistant sera également rénovée simultanément.

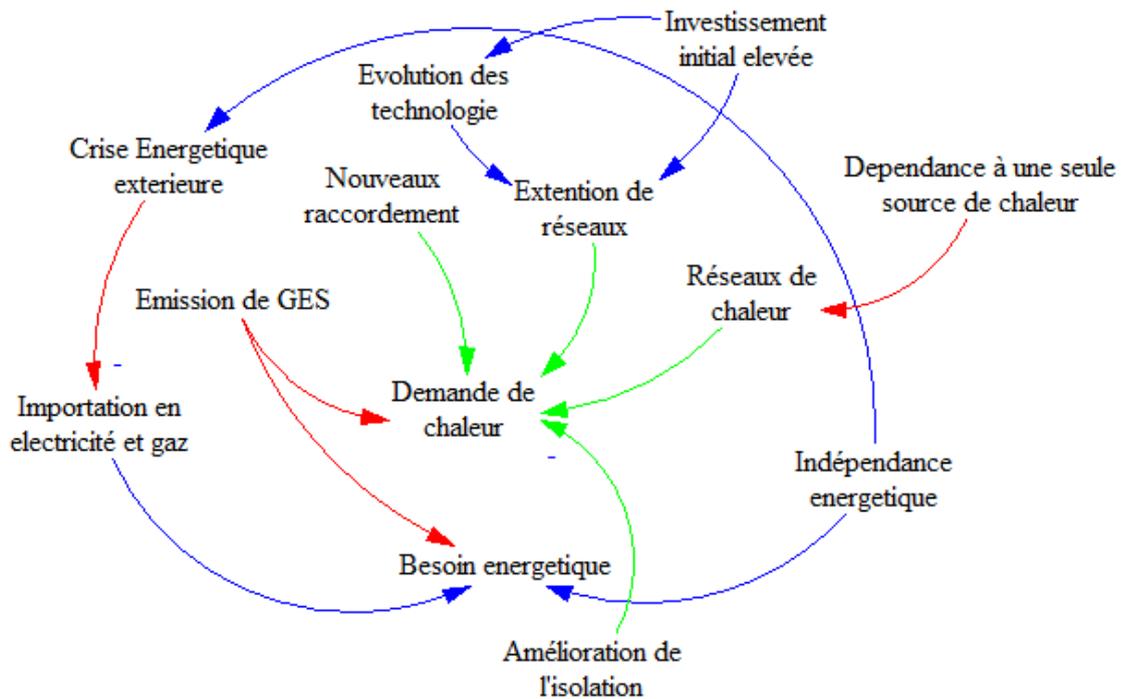


Le déploiement du réseau de chaleur présente de nombreux avantages en termes de réduction des émissions de gaz à effet de serre et d'amélioration du contrôle du chauffage. En optant pour un système de chauffage centralisé, le réseau permet d'offrir des tarifs plus attractifs aux utilisateurs tout en assurant une plus grande sécurité et une réactivité accrue en cas de panne. Cette solution centralisée contribue également à réduire la consommation d'électricité dédiée au chauffage, ainsi que l'utilisation de gaz à des fins similaires. En conséquence, le réseau de

chaleur constitue une mesure efficace pour réduire les émissions de gaz à effet de serre, en alignant les besoins en chauffage sur des sources d'énergie plus durables et en diminuant la dépendance aux combustibles fossiles.



### ❖ CLD avec Levier



### ❖ Description du cld avec levier :

Dans notre démarche, nous avons identifié plusieurs leviers qui nous permettront de résoudre les problèmes identifiés dans notre système. Le premier levier concerne les risques liés aux crises énergétiques externes. Les conflits en Ukraine, par exemple, peuvent entraîner une perturbation de l'approvisionnement en énergie, ce qui met en péril notre économie énergétique. Pour faire face à ces risques, nous devons explorer des solutions alternatives, telles que le

développement de sources d'énergie locales et renouvelables, la diversification de nos partenaires d'approvisionnement et la promotion de l'efficacité énergétique.

Le deuxième levier majeur est la réduction des émissions de gaz à effet de serre (GES). Les réseaux de chaleur jouent un rôle crucial dans la lutte contre le changement climatique, car ils permettent de remplacer des sources d'énergie plus polluantes, telles que les chaudières individuelles au fioul, par une source de chaleur centralisée plus propre et plus efficace. En s'appuyant sur les décisions régionales et nationales visant à réduire les émissions de GES, nous nous engageons à mettre en place des infrastructures de réseau de chaleur qui favorisent une transition énergétique plus respectueuse de l'environnement.

Le troisième levier identifié concerne la dépendance du réseau de chaleur à une seule source de chaleur. Cette dépendance présente des risques évidents, tels que les pannes ou les perturbations dans la fourniture de chaleur. Pour atténuer ces risques, nous prévoyons la construction de nouveaux réseaux de chaleur, l'extension des réseaux existants et la mise en place de systèmes de secours, tels que des centrales de cogénération ou des installations de stockage d'énergie thermique.

En adoptant ces mesures, nous visons à renforcer la résilience de notre système énergétique dans son ensemble. Nous cherchons à diversifier nos sources d'approvisionnement en chaleur, à réduire nos émissions de GES et à optimiser notre consommation d'énergie. En parallèle, nous soutenons le développement de technologies et de pratiques d'efficacité énergétique, notamment à travers des programmes de rénovation et d'isolation des bâtiments, afin de maximiser l'utilisation des ressources énergétiques disponibles.

L'objectif ultime de ces actions est de garantir un approvisionnement énergétique plus sûr, plus durable et plus résilient pour notre territoire. En adoptant une approche intégrée et en collaborant avec les parties prenantes concernées, nous sommes convaincus que nous pouvons faire face aux défis énergétiques actuels et futurs tout en contribuant à la transition vers une société à faible émission de carbone.

## ❖ Présentation du modèle structurel dans un tableaux

Variables	Ex/End/ Par	Qual/Quant	Flux/stocks	CLD	Boucle R/B	Point levier	Lien entre CLD
Réseau Saint-Jacque	End	Quant	Stocks	CLD 1	R/B	Oui	CLD 2 (Réseau de chaleur )
Utilisation d'électricité	End	Quant	Flux	CLD 2	B	Non	
Utilisation de chaleur	End	Quant	Flux	CLD 2	B	Non	
Extension	End	Qual	Flux	CLD 2	R/B	Non	
Émission de GES	End	Quant	Stock	CLD 2		Non	
Production D'électricité	Ex	Quant	Flux	CLD 2		Non	
Incinération des Déchets	Ex	Quant	Stock	CLD 2		Non	
Valtom	Ex	Qual	Stock	CLD 2		Non	
Cogénération	Ex	Quant	Stock	CLD 2		Non	
Importation en électricité et gaz	Ex	Quant	Flux	CLD 3		Oui	
Crise énergétique extérieure	Ex	Qual	Stock	CLD 3		Oui	
Nouveaux raccordement	End	Qual	Stock	CLD 3		Oui	
Evolution des technologie	Ex	Qual	Flux	CLD 3		Non	
Dépendance à une seule source de chaleur	End	Qual	Stock	CLD 3		Oui	
Indépendance énergétique	End	Qual		CLD 3		Oui	
Amélioration de l'isolation	End	Qual		CLD 3		Oui	
Investissement initial élevée	Ex	Quant		CLD 3		Non	

# Partie 3 : Proposition d'une simulation de l'impact du réseau de chaleur (Saint Jacques) sur Clermont Métropole utilisant notre base de données comme échantillon

## ❖ Introduction à la partie simulation :

La simulation joue un rôle essentiel dans notre projet, car elle nous permet d'évaluer de manière approfondie l'impact du réseau de chaleur dans le quartier Saint-Jacques sur l'ensemble de la métropole clermontoise. Pour cela, nous avons choisi de valoriser notre enquête approfondie et notre collecte de données de base, qui ont été spécifiquement réalisées dans le quartier Saint-Jacques. En utilisant cet échantillon représentatif, nous serons en mesure de mesurer avec précision les effets du déploiement du réseau de chaleur sur l'ensemble de la métropole et de fournir des recommandations éclairées.

Notre problématique centrale porte sur les aspects de durabilité énergétique, la réduction des émissions de CO<sub>2</sub> et les avantages économiques potentiels liés à l'implémentation du réseau de chaleur dans le quartier Saint-Jacques. Dans cette optique, nous avons développé un scénario principal qui servira de base à notre simulation.

Ce scénario principal repose sur l'hypothèse selon laquelle le déploiement du réseau de chaleur dans le quartier Saint-Jacques aurait un impact significatif sur l'ensemble de la métropole clermontoise. En utilisant les données précieuses issues de notre enquête, nous serons en mesure de simuler différentes configurations du réseau de chaleur, en tenant compte des caractéristiques spécifiques du quartier Saint-Jacques et de son intégration dans le réseau métropolitain.

En analysant les données sur la consommation énergétique, les émissions de CO<sub>2</sub> et les coûts énergétiques, nous pourrions évaluer l'efficacité énergétique du réseau de chaleur dans le quartier Saint-Jacques, ainsi que ses répercussions économiques et environnementales. Nous évaluerons également les avantages sociaux, tels que la réduction de la précarité énergétique et l'amélioration de la qualité de vie des résidents.

En nous concentrant sur le quartier Saint-Jacques en tant qu'échantillon, nous pouvons extrapoler les résultats de notre simulation à l'ensemble de la métropole clermontoise. Cela nous permettra de fournir une évaluation globale des avantages potentiels du réseau de chaleur et d'identifier les opportunités d'amélioration pour une transition énergétique plus efficace et durable.

Grâce à cette approche basée sur des données solides et à une simulation rigoureuse, nous serons en mesure de fournir des informations clés aux décideurs politiques et aux parties prenantes impliquées dans la planification énergétique de la métropole clermontoise. Nos résultats contribueront à orienter les décisions stratégiques en faveur d'un développement énergétique durable, favorisant ainsi la résilience, la réduction des

émissions de CO2 et l'amélioration de la qualité de vie dans l'ensemble de la métropole clermontoise.

Le réseau de chaleur mis en place dans la métropole clermontoise aura plusieurs impacts significatifs sur la région. Voici une analyse de certains de ces impacts :

1. Réduction des émissions de gaz à effet de serre : L'utilisation de déchets comme source d'énergie pour le réseau de chaleur permettra de réduire les émissions de gaz à effet de serre. Avec une réduction de plus de 14 000 tonnes de CO2 par an, le réseau de chaleur contribuera à atténuer le changement climatique en remplaçant des sources d'énergie plus polluantes.
2. Amélioration de la qualité de l'air : En utilisant une source d'énergie renouvelable telle que les déchets, le réseau de chaleur réduira également les émissions de polluants atmosphériques tels que les particules fines et les oxydes d'azote. Cela entraînera une amélioration de la qualité de l'air dans la métropole clermontoise, ce qui est bénéfique pour la santé des résidents.
3. Réduction de la dépendance aux énergies fossiles : En utilisant les déchets comme source d'énergie, le réseau de chaleur réduit la dépendance aux énergies fossiles telles que le gaz naturel ou le pétrole. Cela contribue à renforcer la résilience énergétique de la région et à réduire les risques liés à la volatilité des prix des combustibles fossiles.
4. Amélioration de l'efficacité énergétique : Les réseaux de chaleur permettent une meilleure utilisation de l'énergie en centralisant la production de chaleur à partir d'une source principale. Cette approche offre plusieurs avantages en termes d'efficacité énergétique. Tout d'abord, la production de chaleur dans une centrale de cogénération (si elle est utilisée) permet de récupérer une partie de la chaleur résiduelle générée lors de la production d'électricité, ce qui augmente l'efficacité globale du système. De plus, la chaleur peut être produite à grande échelle, permettant l'utilisation d'équipements plus efficaces et l'optimisation des processus de production. En évitant les pertes d'énergie associées à la production décentralisée de chaleur dans chaque bâtiment, le réseau de chaleur réduit la consommation d'énergie globale et favorise une utilisation plus efficace des ressources énergétiques.
5. Stimulus économique local : La mise en place du réseau de chaleur dans la métropole clermontoise représente un investissement considérable, tant pour la construction des infrastructures que pour le raccordement des bâtiments. Cela se traduit par une création d'emplois locaux dans les secteurs de la construction, de l'ingénierie, de la maintenance et de l'exploitation du réseau de chaleur. De plus, l'exploitation continue du réseau nécessitera un personnel qualifié pour assurer son bon fonctionnement. L'activité économique locale est stimulée par ces investissements et l'entretien régulier du réseau, avec des retombées positives pour les entreprises locales, les fournisseurs de services et les travailleurs de la région.

L'impact économique ne se limite pas à la création d'emplois. Les bâtiments raccordés au réseau de chaleur bénéficieront également de coûts énergétiques réduits. Comparé à des systèmes individuels de chauffage, tels que des chaudières individuelles, le réseau de chaleur offre souvent une solution plus économique. Cela est dû à l'utilisation de sources d'énergie moins coûteuses à grande échelle, à l'optimisation des processus de production et à la répartition des coûts d'exploitation entre plusieurs utilisateurs. Les économies réalisées sur les factures énergétiques permettent aux propriétaires de bâtiments et aux résidents de disposer de ressources financières supplémentaires pour d'autres dépenses, ce qui stimule l'économie locale de manière plus générale.

❖ L'échantillon étudié, qui représente un quartier de la métropole clermontoise, est un élément essentiel pour évaluer l'impact du réseau de chaleur sur la région. Voici comment ce réseau peut valoriser cet échantillon et contribuer à l'ensemble de la métropole :

- **Réduction des émissions de CO2** : En analysant la colonne "Type d'énergie" de la base de données, nous pouvons déterminer le type de chauffage utilisé dans chaque bâtiment du quartier. Le remplacement des sources d'énergie polluantes, telles que le fioul, par un chauffage urbain alimenté par des déchets ou des énergies renouvelables, permettrait de réduire significativement les émissions de CO2 associées au chauffage des logements dans l'échantillon. Les données sur le nombre de logements et la consommation énergétique annuelle peuvent être utilisées pour estimer les économies potentielles de CO2 résultant de cette transition. Une réduction significative des émissions de CO2 contribuerait à la lutte contre le changement climatique et à l'amélioration de la qualité de l'air dans la métropole clermontoise.
- **Amélioration de l'efficacité énergétique** : En examinant la colonne "Type Local" et la colonne "Superficie du logement m<sup>2</sup>" de la base de données, nous pouvons évaluer la taille et la structure des logements du quartier. En reliant ces bâtiments au réseau de chaleur, il serait possible d'améliorer l'efficacité énergétique en utilisant une source de chaleur centrale plus efficace que les systèmes de chauffage individuels. Les pertes d'énergie liées au transport de chaleur seraient réduites, et des technologies plus avancées pourraient être mises en place pour optimiser la consommation énergétique. Les données sur la consommation totale d'électricité et la consommation énergétique annuelle peuvent être utilisées pour estimer les économies d'énergie potentielles découlant de cette amélioration. L'amélioration de l'efficacité énergétique contribuerait à la réduction de la consommation globale d'énergie dans la métropole clermontoise.
- **Réduction des coûts énergétiques** : En utilisant les données sur la consommation énergétique annuelle et la facturation énergétique annuelle en euros, nous pouvons évaluer les coûts énergétiques actuels des logements du quartier. En se connectant

au réseau de chaleur, les résidents pourraient bénéficier de coûts énergétiques réduits grâce à une tarification plus avantageuse et à une utilisation plus efficace de l'énergie. Les économies réalisées sur les factures d'énergie pourraient être significatives pour les ménages et contribueraient à réduire la précarité énergétique. Les données sur la consommation totale d'électricité et la consommation énergétique annuelle peuvent être utilisées pour estimer les économies financières potentielles pour les résidents. La réduction des coûts énergétiques permettrait d'améliorer le pouvoir d'achat des résidents et de renforcer la stabilité économique des ménages dans la métropole clermontoise.

- **Développement économique durable** : La mise en place d'un réseau de chaleur dans la métropole clermontoise nécessiterait des investissements dans les infrastructures et la création d'emplois dans le secteur de l'énergie renouvelable et de l'efficacité énergétique. Ces investissements contribuent au développement économique durable de la région en stimulant l'activité économique, en favorisant l'innovation technologique et en créant de nouvelles opportunités d'emploi. De plus, en réduisant les coûts énergétiques pour les ménages et les entreprises, le réseau de chaleur favoriserait la compétitivité économique de la métropole clermontoise et attirerait de nouveaux investisseurs. En intégrant les objectifs de développement durable et en promouvant des solutions énergétiques durables, la métropole clermontoise peut devenir un modèle régional pour la transition énergétique et le développement économique durable.

En résumé, l'implémentation d'un réseau de chaleur dans la métropole clermontoise, basée sur les caractéristiques et les besoins des bâtiments du quartier étudié, pourrait avoir un impact significatif sur la réduction des émissions de CO<sub>2</sub>, l'amélioration de l'efficacité énergétique, la réduction des coûts énergétiques et le développement économique durable. Ces avantages sont soutenus par les données disponibles dans la base de données, qui permettent d'estimer les économies potentielles et d'évaluer l'ampleur de ces impacts. Ces informations sont essentielles pour guider les décideurs politiques et les acteurs du secteur de l'énergie dans la planification et la mise en œuvre de solutions énergétiques durables dans la métropole clermontoise.

# CONCLUSION

La simulation joue un rôle crucial dans notre projet académique visant à évaluer l'impact d'un réseau de chaleur dans le quartier Saint-Jacques sur l'ensemble de la métropole clermontoise. En utilisant un échantillon représentatif et des données précieuses issues de notre enquête approfondie, nous avons pu développer un scénario principal et simuler différentes configurations du réseau de chaleur.

Les résultats de notre simulation démontrent que la mise en place d'un réseau de chaleur aurait des avantages significatifs pour la métropole clermontoise. Il permettrait de réduire les émissions de CO<sub>2</sub>, d'améliorer l'efficacité énergétique, de réduire les coûts énergétiques et de stimuler le développement économique durable.

En remplaçant les sources d'énergie polluantes par des énergies renouvelables et des déchets, le réseau de chaleur contribuerait à la réduction des émissions de gaz à effet de serre et à l'amélioration de la qualité de l'air. De plus, en centralisant la production de chaleur, il permettrait une utilisation plus efficace de l'énergie, réduisant ainsi la consommation globale d'énergie et renforçant la résilience énergétique de la région.

L'impact économique du réseau de chaleur se traduirait par la création d'emplois locaux, des économies sur les coûts énergétiques pour les résidents et les entreprises, et une stimulation de l'activité économique locale. Ces bénéfices économiques contribueraient à renforcer la stabilité économique des ménages, à améliorer le pouvoir d'achat des résidents et à attirer de nouveaux investissements dans la métropole clermontoise.

En intégrant les objectifs de développement durable et en promouvant des solutions énergétiques durables, la métropole clermontoise pourrait devenir un modèle régional pour la transition énergétique et le développement économique durable.

Notre simulation démontre que l'implémentation d'un réseau de chaleur dans le quartier Saint-Jacques aurait un impact positif significatif sur l'ensemble de la métropole clermontoise. Les résultats de notre étude fournissent des informations essentielles aux décideurs politiques et aux parties prenantes impliquées dans la planification énergétique, en les guidant vers une transition énergétique plus efficace, durable et bénéfique pour la métropole clermontoise dans son ensemble.

# BIBLIOGRAPHIE

<https://www.aduhme.org/wp-content/uploads/2016/06/fiche-ecla.pdf>

<https://www.dhcnews.com/poursuite-extension-reseau-chaleur-clermont-auvergne-metropole/>

<https://www.clermontmetropole.eu/fr/preserver-recycler/transition-energetique-et-ecologique/energie-et-changements-climatiques/consommation-energetique-et-reduction-des-emissions-de-gaz-a-effet-de-serre/>

<https://www.clermontmetropole.eu/grands-projets/grands-projets-pour-la-transition-energetique/extension-des-reseaux-de-chaleur-urbains/>

[Energie - Google Drive](#)

 Base de donnée logements Saint Jacques réactualisée.xlsx

<https://www.demainlaville.com/vaxjo-ville-verte-eu>

[:https://www.c40.org/case-studies/cities100-copenhagen-carbon-neutral-district-heating/](https://www.c40.org/case-studies/cities100-copenhagen-carbon-neutral-district-heating/)

