

Thèse de Doctorat en Cotutelle

Entre

Université de Lille

&

Université Mohammed V de Rabat – École Mohammadia d'Ingénieurs

Pour obtenir les grades de :

**Docteur en Sciences et Techniques de l'Ingénieur de l'École Mohammadia
d'Ingénieurs**

&

Docteur de l'Université de Lille

Génie - Civil

Présenté par :

Ayoub AZLAL

Laboratoire de Génie-Civil et de géo-Environnement

&

Laboratoire d'Analyse des Systèmes, Traitement de l'Information et
Management Industriel

Déploiement d'une stratégie Smart City à l'échelle de la ville.
Application à la ville de Saint-Quentin

Soutenue publiquement à Lille le 28/12/2020 devant le jury composé de :

Pr. DEFER Didier	Université d'Artois	Président
Pr. SHAHROUR Isam	Université de Lille	Directeur de Thèse
Pr. SOULHI Aziz	École Nationale Supérieure des Mines de Rabat	Co-Directeur
Pr. DIAB Youssef	Université Paris-Est Marne-la-Vallée	Rapporteur
Pr. CHERRADI Toufik	École Mohammadia d'Ingénieurs, Rabat	Rapporteur
Pr. EL HAJJI Mounia	ENSEM, Casablanca	Rapporteur
Pr. KHALFAOUI Mohamed	École Supérieure de Technologie de Salé	Examineur
Dr. ABDALLAH Amani	Khatib and Alami Engineering, Beyrouth	Examineur

À Sidi Ahmed et Moulay El Bachir,

À la mémoire de Nora, ma mère, Paix à ton âme !

À la mémoire de Si Driss, Saleh et Zayneb, mes grands-parents, Paix à leurs âmes !

À Mohamed, mon père, qui a fait de moi l'homme que je suis

À Samia, mon épouse

À Idriss, Ayman, Nouha, Yassine et Karim

À ma grand-mère Jamila, mes tantes, mes oncles, mes cousins et ma famille toute entière

À Moulay Mustapha et Fatiha, mes beaux-parents, et à ma belle famille

À tous ceux qui ont œuvré de près ou de loin pour que j'en sois là aujourd'hui

Remerciements

En premier lieu, je tiens à remercier mon directeur de thèse, Professeur Isam SHAHROUR, sans lequel ce travail n'aurait jamais vu le jour. Je lui témoigne toute ma gratitude, mes profonds respects et mon admiration. Merci pour votre temps et votre attention, merci pour vos précieux conseils et merci de m'avoir donné les moyens de prendre de la hauteur.

J'adresse également mes remerciements au Professeur Aziz SOULHI pour m'avoir encadré, pour sa disponibilité, sa constance, ses encouragements et ses conseils méthodologiques.

Je remercie le Professeur DEFER Didier qui m'a fait l'honneur de présider mon jury de thèse ainsi que l'ensemble des membres du jury, les professeurs KHALFAOUI Mohamed, EL HAJI Mounia, DIAB Youssef, CHERRADI Toufiq et Madame ABDALLAH Amani. Merci d'avoir accepté de lire et d'évaluer mon travail de recherche. Merci pour vos remarques et vos conseils.

Je remercie l'ensemble des chercheurs, doctorants et collaborateurs du laboratoire LGCgE, en particulier les membres de l'équipe de recherche SunRise. Merci à SANDRAS Christelle, à ALJER Ammar et à tous mes amis. Je tiens également à remercier les responsables du Master de Génie Civil à l'Université de Lille, Merci à Madame OUNAIES Sana et Monsieur MROUEH Hussein de m'avoir donné l'opportunité d'enseigner.

Une partie conséquente de ce travail n'aurait pas été possible sans le soutien et l'implication de la Ville de Saint-Quentin, en particulier Madame le Maire MACAREZ Frédérique. Merci également à Madame SOW Aissata, Messieurs SEKSAOUI Mustapha, DOBRZYNSKI Thierry, GIBBE Nicolas, VARLET Laurent, SALEILLE Eric, CHAFOTTE Alexandre et l'ensemble des collaborateurs qui nous ont aidé.

Je tiens à remercier Madame EL ALAMI Jamila, directrice du Laboratoire LASTIMI, je salue son dévouement, sa rigueur et son professionnalisme. Je remercie également l'ensemble du personnel de l'École Mohammadia d'Ingénieurs, de l'École doctorale CEDOC, en particulier Madame SEKKOUR Laila.

Avant de finir, je voudrai rendre hommage à l'ensemble de mes enseignants et professeurs ainsi que toute personne ayant contribué de près ou de loin à mon instruction. Je pense en particulier à Madame BENANI Soraya.

Abstract

This thesis work focuses on the deployment of the Smart City concept at the city level, with an application in the city of Saint-Quentin. The work, presented in this manuscript, contributes to enrich the Research in the field of the smart city with the objective of bridging the knowledge gap between theory and practice.

Thus, the main objective is to develop a methodology for the development of a "Smart City" roadmap as the first phase of the implementation of a Smart City project.

This thesis report is divided into five main parts.

The first part presents a synthesis of the state of the art of research and practice on the Smart City in the world.

The second part presents the methodology developed to conduct a smart city approach. It constitutes a solid scientific basis for carrying out and designing a global "Smart City" strategy.

The third part is about the application of the methodology developed to the city of Saint-Quentin. After a deep analysis of the territory, we carried out a diagnosis with a view to deploying the Smart City concept. This task included identifying the challenges facing the city and areas for improvement. A series of pilot projects have been proposed.

The fourth part consists on describing the real estate assets of the city of Saint-Quentin, as well as analyzing their energy consumption and CO2 emissions.

At last but not least, the fifth part aims to reflect the work carried out for the intelligent transformation of municipal buildings in the city of Saint-Quentin. Two main test sites are presented : a hall for concerts and shows and a nursery and primary school group. This chapter also presents the methodology for deploying sensors to measure and monitor comfort and safety parameters in real time as well as the use of these data.

Keywords: Smart City, Urban Intelligence, Pilot Project, Co-construction, Urban Diagnosis

Résumé :

Ce travail de thèse porte sur le déploiement du concept Smart City à l'échelle de la ville, avec une application à la ville de Saint-Quentin. Les travaux présentés dans ce manuscrit contribuent à enrichir la recherche dans le domaine de la Smart City avec pour objectif de combler l'écart de connaissance entre la théorie et la pratique.

L'objectif principal est de développer une méthodologie pour l'élaboration d'une feuille de route "Smart City" comme première phase de l'implémentation d'une démarche Smart City.

Le travail comporte 5 parties.

La première partie présente une synthèse l'état de l'art des recherches et des pratiques sur la Smart City dans le monde.

La deuxième partie présente la méthodologie développée pour conduire une démarche Smart City. Elle constitue une base scientifique solide pour mener à bien et concevoir une stratégie globale "Smart City".

La troisième partie présente l'application de la méthodologie développée à la ville de Saint-Quentin. Après une analyse profonde du territoire, nous avons réalisé un diagnostic en vue d'un déploiement du concept Smart City. Ce travail a comporté une identification des enjeux de la ville et les pistes d'amélioration. A cet effet, une série de projets pilotes a été proposée.

La quatrième partie présente une description du patrimoine immobilier de la ville de Saint-Quentin, ainsi qu'une analyse de leurs consommations énergétique et émissions de CO₂.

La dernière partie présente les travaux réalisés pour la transformation intelligente des bâtiments municipaux de la ville de Saint-Quentin. Deux sites d'expérimentation pilotes sont présentés : une salle de concerts et un groupe scolaire maternelle et primaire. Le chapitre présente également la méthodologie de déploiement des capteurs pour mesurer et suivre, en temps réel, les paramètres de confort et de sécurité ainsi que l'utilisation de ces données.

Mots clés : Smart City, Intelligence Urbaine, Projet Pilotes, Co-Construction, Diagnostic Urbain

Table des matières

REMERCIEMENTS	I
ABSTRACT	III
RESUME :	V
TABLE DES MATIERES	VII
LISTE DES FIGURES	XI
LISTE DES TABLEAUX	XVII
LISTE DES ABREVIATIONS	XIX
INTRODUCTION GENERALE	- 2 -
1 CHAPITRE I : SMART CITY - ÉTAT DE L'ART	- 8 -
1.1 INTRODUCTION	- 8 -
1.2 LA SMART CITY, C'EST QUOI ?	- 9 -
1.2.1 Définitions	- 9 -
1.2.2 Concepts similaires	- 13 -
1.2.3 Visions de la Smart City	- 14 -
1.2.4 Piliers et dimensions de la Smart City	- 14 -
1.2.4.1 Giffinger et al. 2007 : 6 piliers	- 15 -
1.2.4.2 Nam & Pardo 2011	- 16 -
1.2.4.3 Chourabi et al. 2012	- 17 -
1.2.4.4 Angelidou 2017	- 18 -
1.2.4.5 Desdemoustier et al. 2019	- 19 -
1.3 ANALYSE CRITIQUE DE L'ÉTAT ACTUEL DE LA SMART CITY	- 20 -
1.4 BESOINS EN RECHERCHE	- 21 -
1.5 CONCLUSION	- 22 -
2 CHAPITRE II : METHODOLOGIE DE RECHERCHE	- 24 -
2.1 INTRODUCTION	- 24 -
2.2 FIXER LES IDEES SUR LE CONCEPT SMART CITY	- 24 -
2.2.1 Quel concept pour la smart city ?	- 24 -
2.2.2 L'intelligence urbaine	- 25 -
2.2.3 Processus de mise en place d'un projet smart city	- 27 -
2.3 PHASE DU DIAGNOSTIC	- 28 -
2.3.1 Objectifs	- 28 -
2.3.2 Comment préparer un diagnostic urbain ?	- 29 -
2.3.3 Déroulement du diagnostic	- 30 -

2.4	PROJETS PILOTES.....	- 31 -
2.4.1	<i>Processus d'identification</i>	- 31 -
2.4.2	<i>Sélection des projets pilotes</i>	- 32 -
2.4.2.1	Indicateurs et système de notation.....	- 32 -
2.4.3	<i>Classement des projets avec la méthode SWARA</i>	- 35 -
2.5	ÉVALUATION.....	- 37 -
2.5.1	<i>Implication des acteurs de la ville</i>	- 37 -
2.5.2	<i>Préparation des données préalables</i>	- 38 -
2.5.3	<i>Qualité des échanges avec les acteurs</i>	- 39 -
2.5.4	<i>Niveau de compétences (disponibilité des ressources humaines)</i>	- 39 -
2.5.5	<i>Qualité du projet établi</i>	- 40 -
2.6	CONCLUSION	- 42 -
3	CHAPITRE III : APPLICATION DE LA DEMARCHE SMART CITY A LA VILLE DE SAINT QUENTIN.	- 44 -
3.1	INTRODUCTION	- 44 -
3.2	PRESENTATION DE LA VILLE DE SAINT-QUENTIN	- 44 -
3.2.1	<i>Géographie et emplacement</i>	- 44 -
3.2.2	<i>Démographie, population et société</i>	- 45 -
3.2.3	<i>Emploi et économie</i>	- 48 -
3.2.4	<i>Scolarisation</i>	- 52 -
3.2.5	<i>Environnement et infrastructures</i>	- 54 -
3.2.5.1	Gestion des déchets	- 54 -
3.2.5.2	Gestion des espaces verts	- 54 -
3.2.5.3	AEP : Adduction en eau Potable	- 54 -
3.2.5.4	Assainissement.....	- 55 -
3.3	DIAGNOSTIC DE LA VILLE.....	- 55 -
3.3.1	<i>Contexte de l'étude</i>	- 55 -
3.3.2	<i>Gouvernance de l'étude</i>	- 56 -
3.3.3	<i>La phase préparatoire</i>	- 56 -
3.3.4	<i>La phase d'échange et d'entretien</i>	- 58 -
3.3.5	<i>La phase d'analyse</i>	- 60 -
3.4	FEUILLE DE ROUTE SMART CITY.....	- 63 -
3.4.1	<i>Proposition des projets pilotes</i>	- 63 -
3.4.1.1	Smart Communauté et services	- 64 -
3.4.1.2	Smart Infrastructure and Building	- 64 -
3.4.1.3	Interopérabilité Projet / acteurs :	- 67 -
3.4.1.4	Interopérabilité entre les projets pilotes.....	- 69 -
3.4.2	<i>Sélection des projets pilotes</i>	- 70 -
3.4.2.1	Poids des critères	- 70 -

3.4.2.2	Classement des projets selon les experts.....	- 72 -
3.4.2.3	Classement des projets	- 74 -
3.4.2.4	Évolution du classement des projets.....	- 76 -
3.5	CONCLUSION	- 78 -
4	CHAPITRE IV : BATIMENT MUNICIPAUX INTELLIGENTS - PRESENTATION DES BATIMENTS MUNICIPAUX DE SAINT-QUENTIN	- 80 -
4.1	INTRODUCTION	- 80 -
4.2	DESCRIPTION GENERALE DES BATIMENTS MUNICIPAUX	- 80 -
4.2.1	<i>Nombre et usage</i>	- 80 -
4.2.2	<i>Age des bâtiments</i>	- 82 -
4.2.3	<i>Équipements techniques</i>	- 83 -
4.2.4	<i>Chauffage</i>	- 84 -
4.2.5	<i>Consommation d'énergie</i>	- 86 -
4.2.6	<i>Émissions de CO2</i>	- 88 -
4.3	ANALYSE DE LA CONSOMMATION D'ENERGIE ET DE L'IMPACT ENVIRONNEMENTAL	- 89 -
4.3.1	<i>Données globales</i>	- 89 -
4.3.2	<i>Valeurs « normales et cohérentes »</i>	- 93 -
4.3.3	<i>Consommation ou émissions "anormales"</i>	- 96 -
4.4	CHAUFFAGE URBAIN	- 98 -
4.5	AGE DES BATIMENTS.....	- 103 -
4.6	CONCLUSION	- 104 -
5	CHAPITRE V : BATIMENT MUNICIPAUX INTELLIGENTS: PROJETS PILOTES.....	- 106 -
5.1	INTRODUCTION	- 106 -
5.2	METHODOLOGIE.....	- 106 -
5.2.1	<i>Concept bâtiment municipal intelligent</i>	- 106 -
5.2.2	<i>Instrumentation</i>	- 107 -
5.3	BATIMENT "LA MANUFACTURE, SALLE DE SPECTACLES"	- 108 -
5.3.1	<i>Présentation du bâtiment et objectifs de l'instrumentation</i>	- 108 -
5.3.2	<i>Système de chauffage</i>	- 108 -
5.3.3	<i>Architecture et systèmes de mesure</i>	- 111 -
5.3.3.1	Capteurs :	- 112 -
5.3.3.2	Protocole de transmission.....	- 113 -
5.3.3.3	Base de données BDD.....	- 113 -
5.3.3.4	Interface et Visualisation :	- 114 -
5.3.4	<i>Instrumentation du bâtiment</i>	- 114 -
5.3.5	<i>Modèle BIM</i>	- 116 -
5.3.6	<i>Analyse des paramètres de confort</i>	- 117 -
5.3.6.1	Qualité de l'air (CO2).....	- 117 -

5.3.6.2	Température et humidité	- 119 -
5.3.7	<i>Occupation de la salle</i>	- 124 -
5.3.8	<i>Gestion prédictive</i>	- 126 -
5.4	ÉCOLE JEAN MACE	- 129 -
5.4.1	<i>Instrumentation et modèle BIM</i>	- 130 -
5.4.2	<i>Résultats primaires</i>	- 134 -
5.4.2.1	Température	- 134 -
5.4.2.2	Humidité.....	- 135 -
5.4.2.3	Qualité de l'air	- 136 -
5.4.2.4	Niveau Sonore	- 138 -
5.4.2.5	Corrélation	- 139 -
5.4.3	<i>Occupation normale</i>	- 140 -
5.4.3.1	Température	- 140 -
5.4.3.2	Humidité.....	- 141 -
5.4.3.3	Qualité de l'air	- 141 -
5.4.3.4	Niveau sonore	- 143 -
5.4.4	<i>Analyse Post covid-19</i>	- 144 -
5.4.4.1	Température	- 144 -
5.4.4.2	Humidité.....	- 145 -
5.4.4.3	Qualité de l'air	- 146 -
5.4.5	<i>Complément aux programmes scolaires :</i>	- 148 -
5.5	PLATEFORME URBAINE : OUTIL DE GESTION	- 150 -
5.5.1.1	Fonctionnement technique	- 151 -
5.5.1.2	Services rendus aux citoyens.....	- 153 -
5.5.1.3	Droits d'accès	- 154 -
5.6	CONCLUSION	- 154 -
	CONCLUSION GENERALE :	- 156 -
	BIBLIOGRAPHIE	- 158 -

Liste des figures

Figure 1-1: Domaines de publications majeurs (15) en Smart City (Web Of Science).....	- 9 -
Figure 1-2: Répartition de la production scientifique dans le domaine de la Smart City en fonction des continents (Mora et al. 2017).....	- 10 -
Figure 1-3: Piliers de la Smart City selon (Giffinger et al. 2007).....	- 15 -
Figure 1-4: Composants fondamentaux de la Smart City (Nam and Pardo 2011).....	- 17 -
Figure 1-5: Piliers fondamentaux de la Smart City selon Chourabi et al. 2012.....	- 18 -
Figure 1-6: Dimensions de la Smart City selon Desdemoustier et al. 2019.....	- 19 -
Figure 2-1: Piliers de l'intelligence urbaine (Azlal et al., 2020b).....	- 27 -
Figure 2-2: Phases de construction d'un projet smart city.....	- 28 -
Figure 2-3: Les phases préliminaires à phase du diagnostic (Azlal et al., 2020b).....	- 29 -
Figure 2-4: Déroulement d'un diagnostic urbain (Azlal et al., 2020b).....	- 30 -
Figure 2-5: Phases du diagnostic de la smart city (Azlal et al., 2020b).....	- 31 -
Figure 2-6: Catégories des projets smart.....	- 32 -
Figure 2-7: Processus d'application de la SWARA (Kersulienne et al. 2010).....	- 36 -
Figure 3-1: Carte des villes des Hauts-de-France – © Brad Pict.....	- 45 -
Figure 3-2 : Évolution de la population entre 1968 et 2017.....	- 46 -
Figure 3-3 : Évolution de la taille des ménages entre 1968 et 2017.....	- 46 -
Figure 3-4 : Évolution de la population par tranches d'âges entre 2007 et 2017.....	- 47 -
Figure 3-5 : Pourcentage des personnes vivants seuls selon les tranches d'âges en 2012 et 2017.....	- 47 -
Figure 3-6 : Taux de pauvreté par tranche d'âge du référent fiscal en 2017.....	- 48 -
Figure 3-7 : Évolution du taux de chômage en pourcentage de population entre 2007 et 2017.-	49 -
Figure 3-8 : Répartition de la population de 15 ans et plus selon la catégorie professionnelle entre 2007 et 2017.....	- 50 -
Figure 3-9 : Proportion des emplois en fonction du secteur d'activité.....	- 51 -
Figure 3-10 : Répartition des entreprises par secteur d'activité au 31-12-2017.....	- 51 -
Figure 3-11 : Évolution des créations d'entreprises entre 2009 et 2018.....	- 52 -
Figure 3-12 : Scolarisation selon l'âge et le sexe en 2017.....	- 53 -
Figure 3-13 : Diplôme le plus élevé de la population non scolarisée de 15 ans ou plus (en %).-	53 -
Figure 3-14 : Axes majeurs des entretiens.....	- 59 -
Figure 3-15 : Matrice des interdépendances.....	- 61 -

Figure 3-16 : Sensibilité des experts aux critères de sélection des projets	- 62 -
Figure 3-17 : Projets pilotes retenus.....	- 66 -
Figure 3-18 : Évolution du classement des projets	- 77 -
Figure 4-1 : Répartition des bâtiments par catégorie	- 81 -
Figure 4-2 : Répartition des âges des bâtiments en fonction de leur usage	- 82 -
Figure 4-3 : Proportion des âges des bâtiments en fonction de leur usage.	- 83 -
Figure 4-4 : Type d'énergie nécessaire à la production de la chaleur par catégorie de bâtiment.....	- 84 -
Figure 4-5 : Pproportion des énergies utilisées pour la production de chaleur	- 85 -
Figure 4-6 : Type de chauffage par catégorie de bâtiments	- 85 -
Figure 4-7 : Proportion de chaque type de chauffage	- 86 -
Figure 4-8 : Part de consommation en EP et de chaque catégorie de bâtiment et pourcentage de bâtiment par catégorie	- 87 -
Figure 4-9 : Proportion de l'EP consommée et des émissions de CO ₂ pour chaque catégorie de bâtiments.....	- 89 -
Figure 4-10: Matrice de corrélation entre l'EP, les émissions de CO ₂ et la surface des bâtiments	- 90 -
Figure 4-11 Relation entre les émissions de CO ₂ et l'énergie primaire consommée.....	- 91 -
Figure 4-12 : Relation entre les émissions de CO ₂ par m ² et l'énergie primaire par m ²	- 91 -
Figure 4-13 : Relation entre la consommation d'EP et la surface des bâtiments.....	- 92 -
Figure 4-14 : Relation entre les émissions de CO ₂ et la surface des bâtiments	- 92 -
Figure 4-15 : Matrice de corrélation entre l'EP, les émissions de CO ₂ et la surface	- 94 -
Figure 4-16 : Distribution des émissions de CO ₂ en fonction de l'EP.	- 95 -
Figure 4-17 : Distribution de l'Ep en fonction de la surface.....	- 95 -
Figure 4-18 : Matrice de corrélation entre EP, émissions CO ₂ et surface	- 96 -
Figure 4-19 : Distribution des émissions de CO ₂ en fonction de la consommation en EP .	- 97 -
Figure 4-20 : Distribution de la surface en m ² par rapport à la consommation en EP en kWhEP	- 97 -
Figure 4-21 : Matrice de corrélation entre les différents types de chauffage, les sources de production de la chaleur, l'EP et les émissions de CO ₂	- 99 -
Figure 4-22 : Répartition des émissions de CO ₂ , de l'EP consommée et du type de chauffage utilisé pour les bâtiments sociaux.....	- 101 -
Figure 4-23 : Répartition des émissions de CO ₂ , de l'EP consommée et du type d'énergie nécessaire à la production de la chaleur pour les bâtiments sociaux	- 102 -

Figure 4-24 : Distribution de l'EP consommée en fonction de l'âge des bâtiments	- 103 -
Figure 4-25 : Distribution des émissions de CO ₂ en fonction de l'âge des bâtiments	- 104 -
Figure 5-1: Domaines de recherche s'intéressant au smart municipal building (Source : Web of Science).....	- 107 -
Figure 5-2: Bouche de soufflage avec un capteur de température à son extrémité.....	- 108 -
Figure 5-3: Variation de la température de soufflage du 15-12-2019 à 12 :00 :00 au 03-03-2020 à 14 :00 :00	- 109 -
Figure 5-4: Profil hebdomadaire en période d'inoccupation, de fonctionnement normal de la salle de concert	- 110 -
Figure 5-5: Profil de chauffage hebdomadaire, avec un concert le 27-02- à partir de 20h-	110 -
Figure 5-6 : Architecture du système de surveillance (Aljer et al., 2017)	- 111 -
Figure 5-7: Module THLN: (Capteurs de Température, Humidité, Luminosité et Bruit) -	112 -
Figure 5-8: Capteur de CO ₂	- 112 -
Figure 5-9: Capteur de mouvement et de présence	- 112 -
Figure 5-10: Interface de visualisation.....	- 114 -
Figure 5-11: Plan 2D du bâtiment instrumenté	- 115 -
Figure 5-12: Capture du modèle BIM	- 116 -
Figure 5-13: Représentation 3D avec l'emplacement de certains capteurs	- 116 -
Figure 5-14: Représentation « violin plot » de la concentration en CO ₂ dans la salle.	- 117 -
Figure 5-15: Variation de la concentration en CO ₂ dans la salle de spectacle entre le 15-11-2019 à 16 :00 :00 au 03-03-2020 à 14 :00 :00.	- 118 -
Figure 5-16: Variation hebdomadaire de la concentration de CO ₂ "2020-02-23 23:00:00", "2020-02-29 23:00:00").....	- 119 -
Figure 5-17: variation de la concentration de CO ₂ en ppm un jour du concert (307 personnes).	- 119 -
Figure 5-18: Répartition de la température en fonction des capteurs dans la salle.....	- 120 -
Figure 5-19: Diagrammes boxplot ou boîte à moustache des capteurs de température en fonction de leur emplacement	- 121 -
Figure 5-20: Diagrammes boxplot ou boîte à moustache des capteurs de température de l'espace réservé au public	- 121 -
Figure 5-21: Répartition de la température en fonction des capteurs dans la salle.....	- 122 -
Figure 5-22: Diagrammes boxplot de l'humidité relative selon les différents capteurs.	- 122 -
Figure 5-23: Profil hebdomadaire température- humidité hebdo (concert le 27 à 20h) "2020-02-23 23:00:00", "2020-02-29 23:00:00")	- 123 -

Figure 5-24: variation de la température moyenne, de l'humidité moyenne et de la température extérieure sur tout ladite période d'observation.....	- 124 -
Figure 5-25: Variation de la température intérieure moyenne, de l'humidité moyenne et de la température extérieure sur ladite période d'observation en fonction de l'occupation	- 125 -
Figure 5-26: Variation de la concentration de CO2 sur toute la durée d'observation en fonction des personnes présentes	- 125 -
Figure 5-27: Bibliothèques utilisées lors de la prédiction et la modélisation	- 126 -
Figure 5-28: Modèles de régression utilisés.....	- 127 -
Figure 5-29: Fractionnement Apprentissage/test	- 127 -
Figure 5-30: Matrice de corrélation, durant les jours d'occupation de la salle.....	- 128 -
Figure 5-31: Score final pour la prédiction du CO2 en fonction de la présence.....	- 128 -
Figure 5-32 : Description de la prédiction de la concentration du CO2 en fonction de la présence.....	- 129 -
Figure 5-33: Représentation 3D globale du bâtiment	- 130 -
Figure 5-34: Représentation 3D de l'intérieur du bâtiment.....	- 130 -
Figure 5-35: Représentation 3D du bâtiment avec les réseaux de ventilation double flux -	131 -
Figure 5-36: Station Netatmo.....	132
Figure 5-37: Interface Netatmo via l'application mobile	132
Figure 5-38: Système d'alertes Netatmo	132
Figure 5-39: Plan d'instrumentation de l'École Jean Macé	- 133 -
Figure 5-40: Variation de la température en fonction du temps dans les différentes salles de cours	- 134 -
Figure 5-41: Diagramme « boxplot » de la dispersion de la température dans les différentes classes de cours durant toute la période d'observation	- 135 -
Figure 5-42: Variation de l'humidité relative en fonction du temps dans les différentes salles de cours	- 136 -
Figure 5-43: Diagramme « boxplot » de la variation de l'humidité relative dans les différentes salles de cours durant toute la période d'observation	- 136 -
Figure 5-44: Variation de la concentration en CO2 dans les différentes classes en fonction du temps	- 137 -
Figure 5-45: Diagramme « Violinplot » de la distribution de CO2 dans les différentes classes durant toute la période d'observation.....	- 137 -
Figure 5-46: Variation du niveau sonore (en dB) en fonction du temps dans les différentes classes.....	- 138 -

Figure 5-47: Diagramme « violinplot » de la variation du bruit dans les différentes classes durant toute la période d'observation.....	- 138 -
Figure 5-48: Matrice de corrélation entre les différents paramètres pour toute la durée d'observation.....	- 139 -
Figure 5-49: Profil hebdomadaire de température en occupation normale	- 140 -
Figure 5-50: Profil hebdomadaire de la variation de l'humidité relative en occupation normale-	141 -
Figure 5-51: Profil hebdomadaire de la variation de la concentration de CO2 en ppm en occupation normale	- 142 -
Figure 5-52: Profil journalier de la concentration de CO2 en ppm, pour un occupation normale.....	- 142 -
Figure 5-53: Diagramme « Violinplot » de la distribution de CO2 dans les différentes classes durant une semaine d'occupation normale.....	- 143 -
Figure 5-54: Profil hebdomadaire de la variation du niveau sonore dans les 4 salles, en période d'occupation normale.....	- 143 -
Figure 5-55: Profil hebdomadaire de température après le confinement	- 145 -
Figure 5-56: digrammes boxplot de la distribution de la température dans les 3 classes .	- 145 -
Figure 5-57: Profil hebdomadaire de température après le confinement	- 146 -
Figure 5-58: Profil hebdomadaire de la qualité de l'air après le confinement.....	- 146 -
Figure 5-59: diagrammes violinplot de la distribution de la concentration de CO2 dans l'air pour les 3 classes après le confinement.....	- 147 -
Figure 5-60: Profil journalier de la qualité de l'air après le confinement.....	- 147 -
Figure 5-61: Cadran d'environnement intérieur.....	- 149 -
Figure 5-62: Page d'accueil de la plateforme Saint-Quentin Smart City.....	- 150 -
Figure 5-63: Page d'accueil de la plateforme Saint-Quentin Smart City.....	- 151 -
Figure 5-64: Page d'accueil du bâtiment "La Manufacture" sur la plateforme Saint-Quentin Smart City	- 151 -
Figure 5-65: visite virtuelle du bâtiment (3D)	- 152 -
Figure 5-66: Environnement intérieur du bâtiment.....	- 153 -
Figure 5-67: Gestion sécuritaire du bâtiment	- 153 -

Liste des tableaux

Tableau 2-1: Liste des indicateurs pour la sélection des projets pilotes smart city	- 32 -
Tableau 2-2: Système de notation des indicateurs des projets smart city	- 34 -
Tableau 2-3: Acteurs de la ville	- 37 -
Tableau 2-4: Indicateurs sur la collecte des données préalables	- 38 -
Tableau 2-5: Indicateurs qualité des échanges avec les acteurs.....	- 39 -
Tableau 2-6: Indicateurs "niveau de compétences"	- 40 -
Tableau 2-7: Indicateurs "qualité du projet"	- 41 -
Tableau 2-8: Analyse SWOT de la démarche smart city	- 41 -
Tableau 3-1 : Liste des participants.....	- 57 -
Tableau 3-2 : Interopérabilité Projet / Acteurs	- 67 -
Tableau 3-3: Interopérabilité entre les projets proposés	- 69 -
Tableau 3-4: Interopérabilité des projets sociaux entre eux.....	- 69 -
Tableau 3-5 : Indicateurs pour la sélection des projets	- 70 -
Tableau 3-6 : Classement des projets suite aux retours des experts.....	- 71 -
Tableau 3-7 : Calcul du poids des indicateurs de sélection.....	- 72 -
Tableau 3-8 : Notation des projets par les experts	- 73 -
Tableau 3-9 : Classement des projets selon la notation des experts.....	- 74 -
Tableau 3-10 : Notation des projets en fonction du poids des indicateurs.....	- 75 -
Tableau 3-11 : Évolution du classement des projets	- 76 -
Tableau 4-1 : Nombre et surfaces totales pour chaque catégorie de bâtiment.....	- 80 -
Tableau 4-2 : Consommation en énergie primaire par catégorie de bâtiment	- 87 -
Tableau 4-3 : Émissions de CO2 pour chaque groupe de bâtiments.....	- 88 -

Liste des abréviations

ADEME : Agence de l'Environnement et de la Maîtrise de l'Énergie

AEP : Adduction Eau Potable

ANSES : Agence nationale de sécurité sanitaire de l'alimentation, de l'environnement et du travail

BDD: Base de Données

BIM: Building Information Modeling

CNNum : Conseil National du Numérique

CO₂ : Dioxyde de Carbone

CSS : Cascading Style Sheets

DGPI : La Direction des Grands Projets et de l'Innovation

DPE: Diagramme de Performance Énergétique

DSI : La Direction des Systèmes d'Informations

EP : Énergie Primaire

GES: Gaz à Effet de Serre

GTB: Gestion Technique des Bâtiments

GTC: Gestion Contrôlée des Bâtiments

HTML : Hypertexte Markup Language

INSEE : Institut National de la Statistique et des Études Économiques

IoT : Internet of Things

ITU : Union Internationale des Télécommunications

LGCgE: Laboratoire de Génie-Civil et de géo-Environnement

MADM : Multiple Attribute Decision Making

MCDM : Multiple Criteria Decision Making

NTIC : Nouvelles Technologie d'Information et de Communication

OCDE : Organisation de Coopération et Développement Économique

OMS : Organisation Mondiale de la Santé

ONU : Organisation des Nations Unies

PMR : Personnes à Mobilité Réduite

PPM : Partie Par Million

RF : Radiofréquences

SGBDR : Système de Gestion de Base de Données Relationnels

SWOT : Strengths - Weaknesses - Opportunities - Threats

UNESCO : Organisation des Nations Unies, pour l'Éducation, la Science et la Culture

Introduction générale

Ce travail de thèse porte sur un thème important et d'actualité pour la ville. Il concerne le développement d'une méthodologie pour la conception et l'implémentation de la solution ville intelligente "Smart City". En effet, de très nombreuses villes sont intéressées par cette solution, mais faute d'expérience et de ressources internes, elles sont à la recherche d'une assistance basée sur le retour d'expériences à la fois académique et professionnelle. Le présent travail de thèse a pour but de contribuer à cet objectif à travers le développement d'une approche méthodologique, basée sur la recherche et le retour d'expérience de terrain, pour le déploiement de la solution smart city.

Contexte et Problématique générale

En 1990, la population mondiale était de 5,3 milliards de personnes. En moins de 30 ans, ce nombre a augmenté de 2 milliards d'individus (7.3 milliards en 2017). Selon les estimations des Nations Unies, la population mondiale devrait atteindre 9.7 milliards d'individus en 2050, avec deux tiers de cette population en milieu urbain (Koutra et al., 2019). Cet accroissement de la population conduit à de multiples problèmes en milieu urbain (Yigitcanlar et al. 2019).

Les villes sont confrontées à une multitude de problématiques, que nous pouvons classer en deux types :

- Des problématiques d'ordre technique, environnemental et matériel, tels que la détérioration et le vieillissement des infrastructures, la rareté et l'épuisement des ressources, la gestion des déchets, la pollution de l'air ainsi que les risques liés à la sécurité et à la santé (Eremia et al., 2017 ; Koutra et al., 2019 ; Pasquinelli & Trun 2020).
- Des problématiques économiques, sociales et organisationnelles

Les villes produisent 80 % des émissions de gaz à effet de serre (GES), et consomment entre 70 et 80 % de l'énergie (Arbolino et al., 2018). La pollution atmosphérique est un problème de santé publique majeur dans le monde entier (Feng et al. 2020). En 2011, l'Organisation Mondiale de la Santé (OMS) a classé la pollution de l'air comme étant la 13^{ème} principale cause de mortalité dans le monde (Feng et al. 2020). En 2016, la pollution de l'air extérieur a causé la mort de 4,2 millions de personnes, soit 7,6 % du nombre total des décès. Cette même année, la pollution de l'air intérieur a causé la mort de 3,8 millions de personnes. D'une manière plus générale, la détérioration de l'environnement cause 23% des décès dans le

monde. Selon l’OMS, 91% de la population mondiale vit dans des endroits où les niveaux de qualité de l’air dépassent les limites fixées par cette organisation. Les principales causes de la mauvaise qualité de l’air sont le transport, l’activité industrielle, le bâtiment, et les déchets (Kaivonen and Ngai 2019).

“L’eau est le moteur de la nature et sa disponibilité et sa qualité constituent souvent une limite au développement économique et au bien-être humain “ (Tarhule 2017). L’un des principaux défis du 21^{ème} siècle est d’assurer à la population mondiale un approvisionnement suffisant et de bonne qualité en eau, tout en garantissant sa disponibilité pour les besoins et les générations futures. Selon l’OMS (2019), 785 millions de personnes ne disposent même pas d’un service d’eau potable. À l’échelle mondiale, au moins 2 milliards de personnes utilisent une source d’eau potable contaminée.

Selon l’observatoire français des services publics d’eau et d’assainissement, le rendement moyen du réseau de distribution d’eau potable était de 79.9 % en 2016. Soit plus de 20 % de l’eau facturée aux consommateurs est perdue (Fitch et al. 2019). De plus, les zones urbaines sont confrontées au risque d’inondations. Non seulement en raison du changement climatique, mais aussi à cause de la densification continue des zones résidentielles, du développement des infrastructures et de l’étalement urbain (Berndtsson et al. 2019). L’urbanisation rapide a considérablement favorisé l’imperméabilisation des sols urbains (Liu et al., 2020). Cela empêche l’infiltration de l’eau qui conduit à la saturation des sols, provoquant ainsi des inondations (Bruwier et al. 2018). La situation dans les pays en voie de développement est plus critique (Nkwunonwo et al., 2020). (Winsemius et al. 2016) évaluent la perte économique directe mondiale entre 1980 et 2013 due aux inondations à plus de 1 billion de dollars. Selon eux, les dommages mondiaux causés par les inondations pourraient augmenter jusqu’à 20 fois d’ici la fin du siècle.

D’une autre part, les villes sont également confrontées à des problématiques sociales et organisationnelles. D’après (Dawes et al. 2009 et Weber E. P. et Khademian, A.M 2008, Chourabi et al. 2012), ces problématiques sont associées à une complexité sociale, économique et politique qui impactent les services de santé, d’éducation, d’emploi, d’accès aux activités sociales et économiques et peuvent conduire à des tensions sociales et d’exclusion.

Selon la banque mondiale, 10 % de la population mondiale vivait avec moins de 1,90 dollar par jour en 2015, ce qui représente 734 millions d’habitants. Selon plusieurs hypothèses fixées

par la banque mondiale, entre 40 à 60 millions de personnes supplémentaires basculeront dans l'extrême pauvreté suite à l'évolution de la pandémie de COVID19.

La fracture numérique représente un enjeu important pour la justice sociale au 21ème siècle. Selon (Rogers 2016), nous vivons dans une époque où les TIC sont considérées comme l'un des principaux moyens de production. Ces nouvelles technologies peuvent avoir une influence positive sur les individus, et dans certains cas permettre leurs ascensions économique et sociale. D'une autre part, le manque de compétences et d'accès à ces technologies priverait davantage les groupes déjà marginalisés (Mora et al. 2019, Yigitcanlar et al., 2018). Pour (Alvares et al., 2014), les sociétés de nos jours sont et seront structurées autour des TIC. En France, on parle d'Illectronisme, terme qui renvoie à l'illettrisme numérique. Dans un rapport de 2019, le Défenseur des droits recommande de repérer et d'accompagner les plus vulnérables, au risque d'une mise à l'écart d'une partie de la société. Il recommande également de former les agents des services publics à ces nouvelles tâches, afin d'éviter un échec pour l'état de droit « si une seule personne devait être privée de ses droits du fait de la dématérialisation d'un service public ». Dans ce sens, l'UNESCO, à travers sa directrice générale Audrey Azoulay souligne qu'avec le numérique, savoir lire, écrire et calculer ne suffisent plus pour affronter les besoins du quotidien, « de nouvelles qualifications, notamment en matière de technologie numérique deviennent nécessaires ». Pour sa part, le Conseil National du Numérique français (CNNum) rapporte en 2013 que « la pauvreté, le chômage, l'isolement et la précarité, le manque de diplôme et de formation sont aujourd'hui aggravés et parfois provoqués par le manque d'expérience et de culture numériques ». Ces propos sont confirmés par les données de l'Insee de 2019 « les personnes âgées, peu diplômées ou dont le niveau de vie est modeste disposent moins souvent d'un accès personnel à Internet ».

Ainsi, les politiques publiques se doivent de contenir cette forte croissance et cette urbanisation rapide, tout en incluant l'ensemble des habitants (en particuliers les plus vulnérables). En même temps, elles doivent veiller à ce que l'écologie et l'environnement soit préservées.

Description du contexte scientifique

Nous avons assisté ces dernières années à l'émergence d'un nouveau concept, celui de la "Smart City" ou de ville intelligente. Ce concept représente une nouvelle façon de penser et de considérer la ville (Mora et al., 2019). Plusieurs villes engagent des démarches "Smart

City" avec pour objectif l'amélioration et l'optimisation des moyens et des ressources (Angelidou 2017). Les recherches dans le domaine de la Smart City connaissent un rapide développement (Koutra et al., 2019; Mora, Deakin, Reid, et al., 2019). D'après plusieurs chercheurs, le concept Smart City constitue une solution idéale pour répondre aux challenges et difficultés des villes (Bibri, 2018; Koutra et al., 2019; Yigitcanlar et al., 2018). Plusieurs études s'interrogent sur la manière de concevoir et de mener à bien une stratégie Smart City à l'échelle de la ville (Dall'o et al., 2017 ; Angelidou & Psaltoglou, 2018 ; Lu et al., 2019).

Néanmoins, nous remarquons un écart considérable de connaissance entre la théorie et la pratique (Azlal et al., 2020), ainsi qu'un manque de cadre conceptuel solide, et scientifiquement bien-fondé (Yigitcanlar et al., 2017; Caragliu et Del Bo 2019). D'après Angelidou et al., (2018),

le concept de Smart City est rarement intégré aux processus de planification et de développement urbains.

Sur le plan pratique, de multiples questions se posent pour les villes intéressées par la transformation "Smart City" : Que signifie ce concept pour le territoire ? Comment peut-il aider à faire face aux problèmes de la ville ? Quels sont les retours économiques et sociétaux de ce concept ? Comment associer les différents acteurs de la ville ? Quel est le modèle de gouvernance adéquat ? Comment financer ce type de projet ? Et plus généralement comment engager et conduire ce type de stratégie à l'échelle d'une ville ?

Objectifs de la thèse

Le concept "Smart City" est vu sous l'angle d'une solution pertinente pour les problèmes rencontrés dans la ville. Après avoir identifié les besoins et les perspectives de recherche dans le domaine de la Smart City, ce travail de thèse vise à combler l'écart de connaissances entre la théorie et la pratique en matière de Smart city. Il vise à bâtir une base scientifique solide pour concevoir et mener à bien un projet de déploiement de la solution Smart City. Ce travail a pour ambition d'établir un cadre pour ce déploiement et de développer des outils qui facilitent l'élaboration et déploiement de la solution Smart City.

Contribution de la thèse

Dans ce travail de thèse, nous avons développé une méthodologie de recherche pour le déploiement d'une stratégie smart city à l'échelle de la ville. Pour ce faire, nous avons d'abord bâti un modèle d'intelligence urbaine, autour des axes suivants :

- La capacité de créer des synergies et de cibler les possibilités de mutualisation des moyens et des ressources.
- L'intégration des spécificités et exigences locales.
- La démocratie participative pour construire le projet avec les citoyens.
- Le développement durable
- La résilience urbaine et une capacité d'anticipation
- Intégration de nouvelles technologies

Nous avons ensuite développé et mis en place une démarche globale pour construire et mener à bien une démarche smart city. Celle-ci comporte les phases suivantes :

- Le diagnostic urbain.
 - Comprendre la situation actuelle (acteurs, enjeux, attentes, ...)
 - Définir les priorités de transformation
 - Construire l'architecture du modèle Smart City
- La réalisation des projets pilotes
 - Déployer les projets prioritaires à petite échelle
 - Évaluation sociales, économiques et techniques des projets
 - Recommandations pour l'extension des projets pilotes
- L'extension des projets pilotes
 - Conception et mise en place des infrastructures numériques
 - Extension des projets pilotes
 - Évaluation et mises à jour

Organisation de la thèse

Ce mémoire de thèse est organisé en 5 chapitres :

Le premier chapitre présente l'état de l'art des recherches et des pratiques sur la smart city. Ce chapitre revient en détails sur les différentes définitions et visions de la Smart City. Il donne les besoins et perspectives de recherche dans le domaine.

Le second chapitre présente la méthodologie de recherche développée pour le déploiement d'une démarche smart city.

Le troisième chapitre présente l'application de la méthodologie de recherche à la ville de Saint-Quentin. Il présente la ville, le travail de diagnostic réalisé et l'élaboration d'une feuille de route "Smart City".

Le quatrième chapitre présente le parc immobilier de la ville de Saint-Quentin, en particulier l'aspect environnemental en matière de consommation d'énergie et d'émission de CO2. La ville a retenu la transformation de ce parc en bâtiment intelligent comme projet prioritaire de sa stratégie "Smart City"

Le cinquième chapitre présente les travaux réalisés pour la transformation intelligente de deux bâtiments municipaux de Saint-Quentin. Il s'agit d'une salle de spectacles et d'une école maternelle et primaire.

1 Chapitre I : Smart city - État de l'Art

1.1 Introduction

L'accroissement rapide de la population, couplé à une urbanisation galopante, génèrent de multiples problèmes et défis urbains. De nos jours, les villes sont confrontées à une multitude de défis, d'ordre technique, physique et matériel, tel que la détérioration et le vieillissement des infrastructures, la rareté et l'épuisement des ressources, la gestion des déchets, la pollution de l'air et pour finir les risques liés à la sécurité et à la santé (Chourabi et al., 2012; Eremia et al., 2017; Koutra et al., 2019; Pasquinelli & Trun, 2020). D'autre part, les villes sont confrontées à des problématiques sociales et organisationnelles. D'après (Dawes et al. 2009 et Weber E. P. et Khademian, A.M 2008, Chourabi et al. 2012). Les problèmes de cette nature sont associés à une complexité sociale, économique et politique qui impactent les services de santé, d'éducation, d'emploi, d'accès aux activités sociales et économiques qui peuvent conduire à des tensions sociales et d'exclusion. De ce fait, les responsables sont tenus de trouver de nouveaux moyens et concepts, pouvant faire face à ces problématiques, et répondre au mieux aux exigences de notre temps.

Nous avons assisté ces dernières années, plus précisément depuis l'an 2000, à l'émergence d'un nouveau concept, celui de « ville intelligente », que nous appellerons Smart City tout le long de ce manuscrit. Le concept Smart City constitue une solution idéale pour répondre aux challenges et difficultés des villes (Bibri, 2018; Koutra et al., 2019; Yigitcanlar et al., 2018). En même temps, la recherche dans ce domaine demeure confuse (Angelidou et al., 2019). Dans ce chapitre, nous aurons l'occasion de revenir sur la chronologie et l'évolution du concept depuis ses débuts. Nous présenterons également différentes visions de la Smart City. Pour finir, nous identifierons les points critiques et les besoins en recherche.

1.2 La Smart City, c'est quoi ?

La smart City représente aujourd'hui un sujet d'intérêt multidisciplinaire (Angelidou, 2017). En effet, la recherche dans le domaine de la Smart City mobilise un grand nombre d'intervenants et de corps d'expertise. D'abord les disciplines de l'ingénierie : Civile, Électrique, Informatique, Industrielle, Urbaine, Numérique et Pédagogique. Également, les sciences humaines et sociales (Économie, Géographie, Démographie) (Angelidou, 2015). Il apparaît que chacun traite le concept de son propre point de vue, ce qui explique l'effervescence des définitions, des visions et des positions (Azlal et al., 2020a). La Figure 1-1 présente les quinze domaines de recherche ayant le plus publié d'articles scientifiques depuis l'an 2000. Nous avons utilisé le mot clé « Smart City » sur le site de Web of science.



Figure 1-1: Domaines de publications majeurs (15) en Smart City (Web Of Science)

1.2.1 Définitions

Un très grand nombre d'articles scientifiques traitent le sujet de la ville intelligente et du rôle des nouvelles technologies dans la gestion des villes (Angelidou et al., 2018; Koutra et al., 2019; Mora, Deakin, Reid, et al., 2019). L'analyse de la bibliographie montre que depuis 2009, la recherche sur les villes intelligentes s'est imposée comme un nouveau domaine de recherche scientifique, et qu'elle s'est rapidement développée depuis (Mora et al., 2017).

De nos jours, il est difficile de trouver une définition qui fasse l'unanimité au sein de la communauté scientifique (Alawadhi et al., 2012; Martin et al., 2019; Nilssen, 2019; Yigitcanlar et al., 2016). Pour (Yigitcanlar & Kamruzzaman, 2018a), cela s'explique par un manque de compréhension conceptuelle solide et unique. (Mora et al., 2017) expliquent cela

par un manque de cohésion et d'échanges intellectuels entre les différents intervenants. Néanmoins, l'utilisation du terme Smart City n'est pas récente. Certains auteurs (Susanti et al. 2016, Albino et al. 2015, Eger 2009) relient le concept de Smart City au mouvement de « Smart Growth » des années 1990, qui renvoie à une urbanisation durable. La Figure 1-2 représente la répartition de la production scientifique dans le domaine de la Smart City en fonction des continents (Mora et al. 2017). On y constate que la quasi-totalité de la production scientifique est concentrée dans les pays développés. Plus spécialement, en Europe, en Amérique du Nord et en Asie de l'Est.

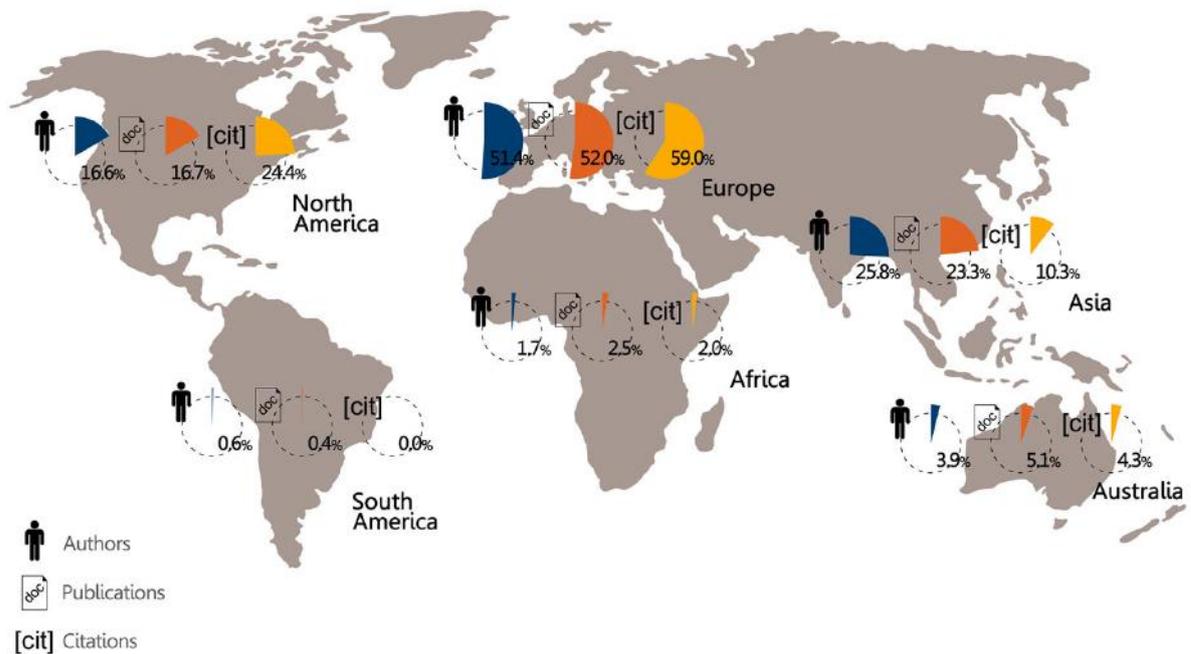


Figure 1-2: Répartition de la production scientifique dans le domaine de la Smart City en fonction des continents (Mora et al. 2017)

La littérature regorge de définitions, d'interprétations et de visions de ce qu'est la ville intelligente (Albino et al., 2015; Mora et al., 2017; Pasquinelli & Trun, 2020; Yigitcanlar et al., 2019). Dans ce rapport de thèse, nous ne garderons que celles qui présentent un intérêt, et qui sont le plus cités dans la littérature. Nous avons veillé à sélectionner celles qui se rapprochent le plus du concept de Smart City dans sa globalité, et non celles qui se focalisent sur un aspect particulier. En effet, il existe dans la littérature plus d'une centaine de définitions. Les unes sont répétitives, d'autres fastidieuses et certaines sans intérêt (Komninos et al., 2019; Mora, Deakin, & Reid, 2019).

Nous avons pris le soin de les exposer dans un ordre chronologique.

- (Hall et al. 2000) définissent la smart city comme étant le centre urbain du futur. Sa conception est basée sur la sécurité, le respect de l'environnement et l'efficacité. En effet, ils affirment que toutes les structures d'une telle ville que ce soit pour l'énergie, l'eau, le transport, etc sont équipées de capteurs ou d'appareils eux-mêmes liés à des bases de données, des suivis et des algorithmes décisionnels. [Thèmes abordés : Technologie, Durabilité et Gouvernance].
- (Bowerman et al. 2000) Affirment que la smart city est une ville qui intègre et qui gère les conditions de ses infrastructures critiques à savoir les routes, les ponts, les tunnels, les rails, les métros, les aéroports etc. La ville doit aussi être capable d'optimiser ses ressources, prévoir ses activités de maintenance et surveiller les aspects de la sécurité, tout en maximisant les services à ses citoyens. [Thèmes abordées : Politique, gouvernance et qualité de vie]
- Pour (Odendaal 2003), une smart City est une ville qui bénéficie des TICs au service de sa prospérité et de son raonnement. [Thèmes abordées : Technology et productivité]
- Une année plus tard, (Partridge 2004) explique le concept comme étant une ville qui adopte les nouvelles technologies dans le but d'avoir une société plus ouverte, où la liberté d'expression, la communication et l'accès aux services seraient plus simple et moins cher pour les citoyens. [Thèmes abordées : Technology, société et qualité de vie]
- (Giffinger et al. 2007) voient la smart city comme ville agissant pour un avenir performant dans les domaines de l'économie, de la société, de la gouvernance, de la mobilité et de l'environnement. Cette performance basée sur une combinaison intelligente des dotations et des activités de citoyens conscients et indépendants. [Thèmes abordées : Communauté, gouvernance, technologie, productivité, accessibilité]
- En 2008, Rios affirme que c'est une ville qui donne de l'inspiration, partage des cultures, des connaissances, et la vie – une ville qui motive ses habitants à créer et à s'épanouir dans leurs propres vies. Selon lui, la Smart city est une ville admirée, un vaisseau vers l'intelligence et, en fin de compte, un incubateur d'espaces indépendants. [Thèmes abordées : Société, productivité et qualité de vie]
- Eger déclare, en 2009, qu'une smart city est une idée particulière de la communauté locale, où les gouvernements, les entreprises et les résidents utilisent les TIC pour réinventer et renforcer le rôle de la communauté dans l'économie de services et créent

des emplois locaux, et ainsi améliorant la qualité de la vie de communauté. [Thèmes abordés : Communauté, productivité, gouvernance et qualité de vie]

- Pour (Belissent 2010), la Smart City est une ville qui utilise les TIC pour rendre les composants des infrastructures critiques et les services des administrations, de l'éducation, de la santé, de la sécurité publique, et du transport, plus interactifs et efficaces. [Thèmes abordés : Technology, accessibilité et gouvernance]
- Pour (Zhao 2011), il s'agit d'une ville qui améliore la qualité de vie, y compris les composants écologiques, culturels, politiques, institutionnels, sociaux et économiques en tenant compte des générations futures. [Thèmes abordés : Durabilité, productivité gouvernance et qualité de vie]
- (Nam et Pardo 2011), quant à eux, sont convaincus que la Smart City est une ville qui offre plusieurs possibilités d'exploiter son potentiel humain et mener une vie créative. [Thèmes abordés : Communauté, qualité de vie, société]
- (Hernandez-Munoz et al. 2011) la définissent comme un écosystème riche qui encourage les déploiements massifs des applications à l'échelle urbaine et des services pour un grand nombre de secteurs d'activités. [Thèmes abordés : Technologie et gouvernance]
- (Gonzalès et Rossi 2011) voient la Smart City comme une administration publique qui délivre ou a comme objectif d'établir des services et une infrastructure de nouvelle génération, basée sur les technologies de l'information et de la communication. [Thèmes abordés : Gouvernance, politique et technologie]
- Pour (Caragliu et al. 2011), une ville est smart quand l'investissement dans le capital humain et social, dans le transport traditionnel, et dans des TIC modernes alimentent une croissance économique durable et une haute qualité de vie. Tout cela avec un management judicieux des ressources naturelles, à travers une gouvernance participative. [Thèmes abordés : Société, technologie, qualité de vie, durabilité, qualité de vie, politique, gouvernance et accessibilité]
- (Schaffers et al.2012), affirment qu'une Smart City est un centre urbain du futur qui est sécurisé, « vert » sur le plan de l'environnement, et efficace avec des infrastructures avancées comme les capteurs, les appareils électroniques, et des réseaux pour stimuler une croissance économique durable et une haute qualité de vie. [Thèmes abordés : Technologie, durabilité, qualité de vie]
- (Lazaroïou et Roscia 2012) imaginent la Smart City comme le challenge du futur, une ville modèle où la technologie est au service de la personne et de son économie et de

l'amélioration de la qualité de la vie sociale. [Thèmes abordées : Technologie et qualité de vie]

- (Alkandari et al. 2012) sont d'accord sur le fait que c'est une ville qui utilise un système smart caractérisé par une interaction entre l'infrastructure, le capital, les comportements et les cultures. Cette interaction étant atteinte grâce à leur intégration. [Thèmes abordées : Technologie, société et gouvernance]
- (Piro et al. 2014) considèrent que la smart city a pour but, d'utiliser les TIC, afin d'offrir des services avancés et innovants aux citoyens pour améliorer leur qualité de vie. [Thèmes abordées : Technologie, qualité de vie et politique]
- (Angelidou 2014) conçoit la Smart City comme un modèle de développement urbain basé sur l'utilisation du capital humain, collectif et technologique pour l'amélioration du développement et de la prospérité dans les agglomérations urbaines. [Thèmes abordées : Société, qualité de vie]
- (Yigitcanlar 2016) voit la Smart City comme une forme idéale pour bâtir des villes durables au 21^{ème} siècle dans la mesure où une vue stable et durable sur le développement économique, sociétal, environnemental et institutionnel est réalisée. [Thèmes abordées : Durabilité, gouvernance et société]
- (Lara et al. 2016) Définissent la Smart City comme une communauté qui encourage systématiquement le bien-être de ses membres. Une communauté assez flexible pour devenir activement et durablement un meilleur endroit pour vivre, travailler et jouer. [Thèmes abordées : Société, durabilité et qualité de vie]

Au fil des années, les définitions se sont structurées, autour d'un noyau commun. Nous constatons que dans un sens global, la Smart City renvoie à toute forme d'innovation « technologique » en matière de planification, de développement, d'exploitation et de gestion des villes (Azlal et al., 2020a).

1.2.2 Concepts similaires

Le concept de Smart City n'est pas le premier en son genre. Plusieurs réflexions visant à améliorer la gestion des villes ont été menées auparavant, ce qui parfois peut porter à confusion. Il existe plusieurs variantes conceptuelles au concept de Smart City. Certaines de ces réflexions ont fait de l'innovation technologique leur principal (voire unique) levier, c'est le cas pour :

- Wired City (Dutton 1987),

- Information City (Sairamesh et al. 2004, Sproull & Patterson 2004 , Castells 1996),
- Digital City (Nam & Pardo 2011, Williams 2010, Yovanof & Hazapis 2009)
- Intelligent City (Malek 2009, Komninou 2009, Komninou & Sefertzi 2009)
- Techno-Centric City (Willis & Aurigi 2017, Baum et al. 2009)
- Ubiquitous City (Anthopoulos & Fitsilis 2010, Lee et al. 2008)
- Hybrid City (Streitz 2009).

Tous ces concepts se focalisent en premier lieu sur l'aspect technologique et sa mise en relation avec les infrastructures de la ville. Les habitants occupent un rang de seconde zone dans l'échelle des priorités.

D'autres réflexions ont essayé de se focaliser sur les aspects humains et sociaux. C'est le cas pour Creative City, Learning City, Humane City et Knowledge City. Cependant, Le concept de Smart City vient surpasser, englober et compléter toutes ces initiatives (Alawadhi et al., 2012; Nam & Pardo, 2011).

1.2.3 Visions de la Smart City

De ce grand nombre de définitions (1.2.1), deux visions majeures se dégagent :

La première se veut **Techno-Centrique**. Elle est principalement défendue par les entreprises de développement technologique (Cisco Systems, IBM, ABB, Fujitsu et Siemens). Ces entreprises considèrent les TIC comme le vecteur d'innovation urbaine. Pour elles, le développement de la Smart City est un marché très prometteur, capable de générer des centaines de milliards de dollars de bénéfices à horizon 2020 (Mora et al. 2017, Zanella et al. 2014, Paroutis et al. 2014, Tamai et al. 2014, Amato et al. 2012).

La seconde vision se veut plus **Holistique et Humano-Centrique**. Elle accorde une place plus importante à l'humain en le mettant au centre de l'attention (human-centric reading (Mora et al. 2017)). Les défenseurs de cette position considèrent la Smart City comme une combinaison équilibrée d'aspects humains, sociaux, environnementaux, culturels, économiques, sociaux et technologiques au service de l'humain.

1.2.4 Piliers et dimensions de la Smart City

Au-delà des définitions, les spécialistes de la question ont développé leurs cadres de travail selon leurs propres perspectives au lieu d'un cadre générique tenant compte de l'ensemble des dimensions de la Smart City (Yigitcanlar et al. 2018, Koutra et al. 2019). Nous allons nous intéresser dans cette section aux études ayant considéré la ville intelligente d'une manière holistique. Nous avons sélectionné les références les plus citées et celles qui permettent au

internationale) et à leur mise en relation avec les TIC, puis à l'innovation apportée aux transports en général.

- ❖ Smart Environment [Smart Environnement] : Cette partie concerne la protection et le soin apportés aux ressources naturelles. S'ajoute à cela les problématiques liées au développement durable, à la protection de l'environnement et à la réduction de l'empreinte carbone des villes.
- ❖ Smart Living [confort et qualité de vie] : ce pilier s'intéresse à la qualité de vie des citoyens. Cela regroupe les conditions de santé et de sécurité, l'accès aux équipements de loisirs (culturels et sportifs), la cohésion sociale ainsi que la qualité et le confort des habitations.

La vision des auteurs est totalement holistique, considère la ville comme un ensemble, mais ne semble pas trop reposer sur l'utilisation des nouvelles technologies ou de Smart solutions. On note aussi l'absence d'une section réservée aux infrastructures et à leur gestion.

1.2.4.2 Nam & Pardo 2011

Pour leur part, Nam and Pardo 2011, ont établi un cadre conceptuel de la smart City autour de 3 axes principaux (Figure 1-4): Technologique, Humain et institutionnel.

- ❖ Technologie : Ce volet regroupe les infrastructures matérielles et logicielles
- ❖ Humain : Cet aspect se focalise plus sur la créativité, la diversité et l'éducation
- ❖ Institutions : La gouvernance et la politique en général.

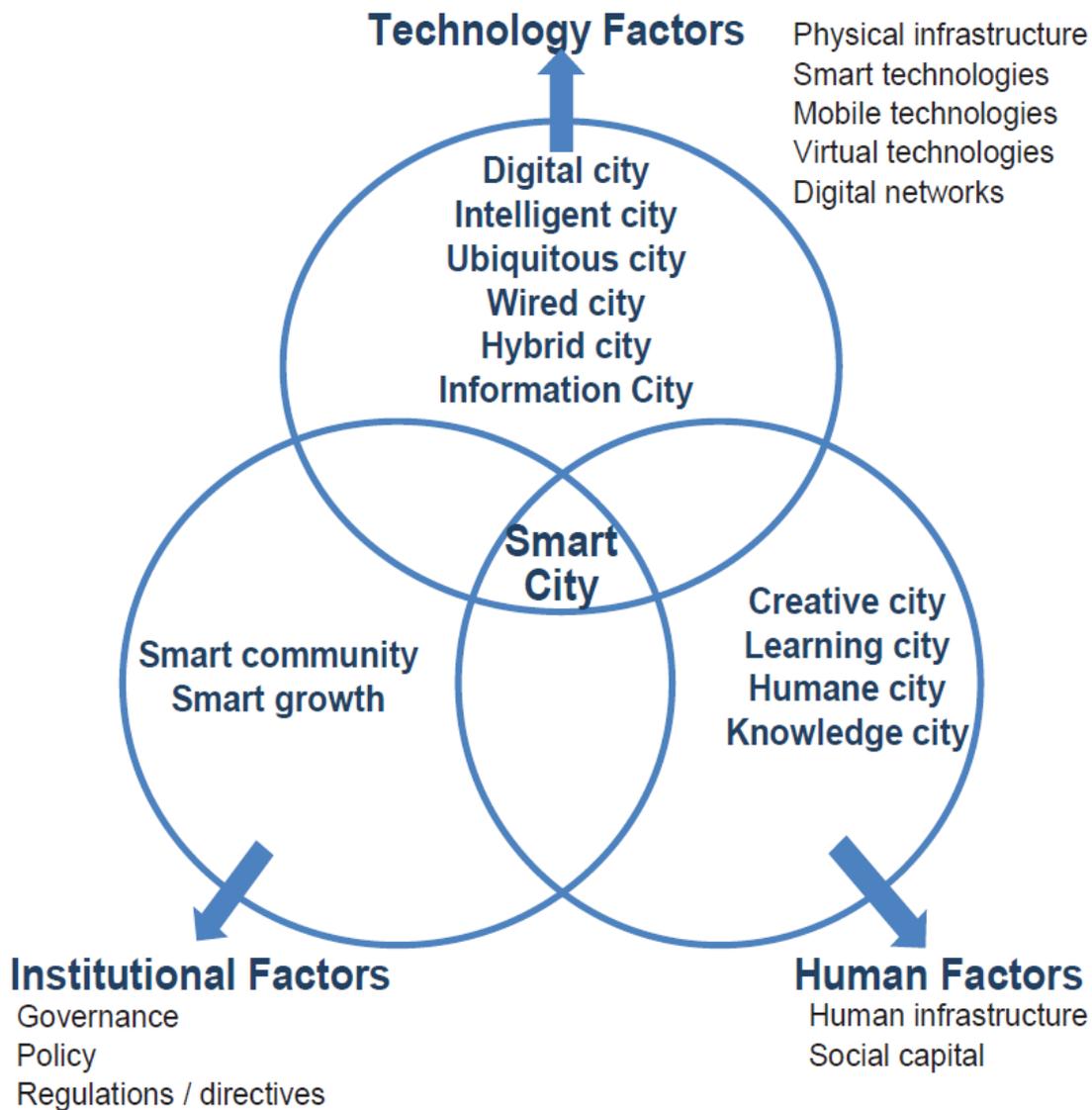


Figure 1-4: Composants fondamentaux de la Smart City (Nam and Pardo 2011)

1.2.4.3 Chourabi et al. 2012

Chourabi et al. 2012, ont construit leur modèle de ville intelligente articulé autour de 8 facteurs clés, à savoir :

- La gestion et l'organisation
- La technologie
- Le contexte politique
- La gouvernance
- Les personnes et la société
- L'économie
- Les infrastructures bâties
- L'environnement naturel

Comme indiqué sur la Figure 1-5, ces facteurs ont des impacts bidirectionnels voir multidirectionnels. Chacun des composants est en relation avec un ou plusieurs autres, à

des degrés différents. De plus, les auteurs dissocient les facteurs en deux niveaux d'influence. D'abord des facteurs internes, que sont le contexte politique, la gestion et l'organisation ainsi que la technologie ; et ensuite le reste des facteurs comme étant des facteurs externes. Une attention particulière est apportée à la technologie, qui est considéré comme un méta facteur du fait de son étroite proximité et utilisation par tous les autres.

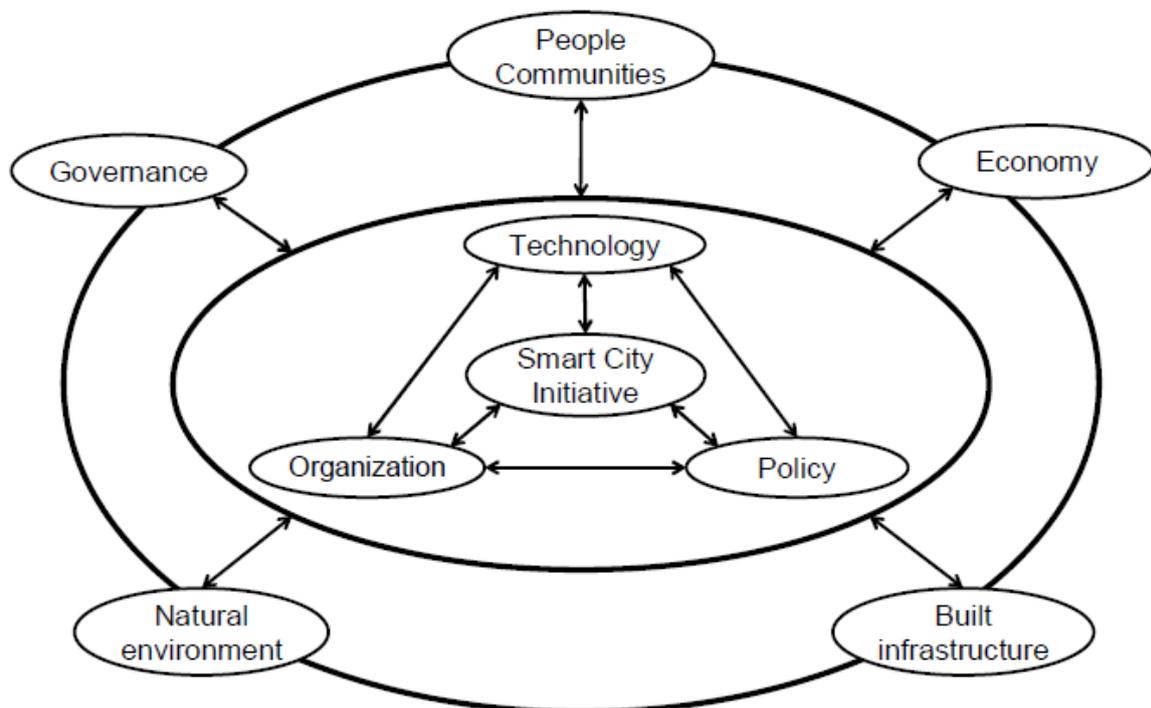


Figure 1-5: Piliers fondamentaux de la Smart City selon Chourabi et al. 2012

1.2.4.4 Angelidou 2017

Margarita Angelidou a produit en 2017 une étude très intéressante. Elle aussi s'est intéressée aux différentes caractéristiques qui définissent une ville intelligente. Son étude étant plus récente que les autres, la scientifique a pu explorer différents avis et points de vues. Son étude est plus riche et vient compléter les précédentes citées dans ce manuscrit de thèse.

Selon elle, la smart city devrait se construire autour de 10 axes ou piliers, que sont :

1. La technologie, les TICs, et Internet
2. Le développement du capital Humain et Social
3. La promotion de l'entrepreneuriat
4. La collaboration et la coopération internationale

5. La sécurité, la confidentialité et la protection des données
6. L'adaptation aux exigences locales
7. La démocratie participative
8. La coordination Top-Down
9. Un cadre explicite et réalisable
10. Une planification interdisciplinaire

1.2.4.5 Desdemoustier et al. 2019

Il existe néanmoins, une nouvelle étude, celle de Desdemoustier et al. 2019, qui suggère une vision plus globale.

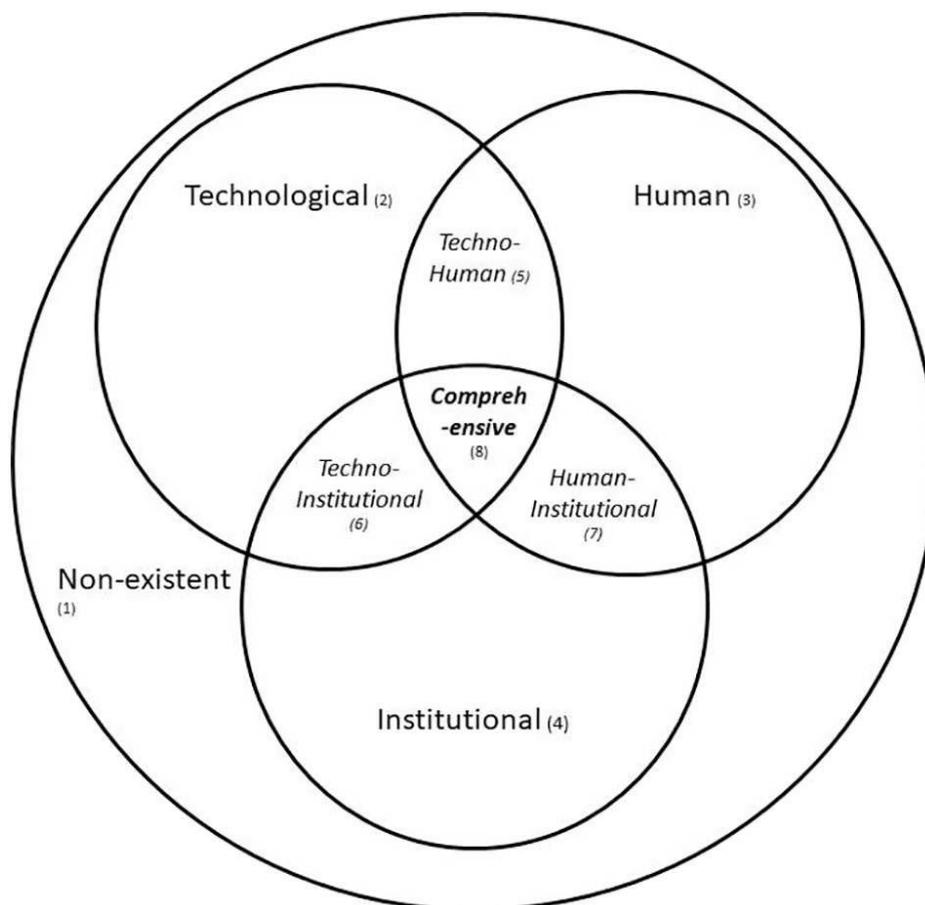


Figure 1-6: Dimensions de la Smart City selon Desdemoustier et al. 2019

On remarque que les auteurs ont distingués 3 visions primaires de la Smart City (Figure 1-6): Technologique, Humaine et institutionnelle. Le croisement, la combinaison et la conciliation de ces trois volets aboutit au cœur de la Smart City.

1.3 Analyse critique de l'état actuel de la Smart City

Au départ, le développement du concept de Smart City reposait principalement sur des préoccupations environnementales. Il est observé aujourd'hui que ces préoccupations sont marginalisées (Angelidou & Psaltoglou, 2018; Yigitcanlar & Kamruzzaman, 2018b), au profit de l'utilisation de la technologie. Cette idée est certes implicite et réductrice du concept, mais la pratique actuelle est principalement unidimensionnelle, avec la technologie comme élément centrale (Yigitcanlar 2016). Les Smart Cities sont plus perçues comme étant des hubs d'innovation technologique plutôt que des centres de développement durables (Yigitcanlar et al. 2018). Sur le long terme, cela pourrait conduire à une dépendance croissante, voire totale à la technologie, tout en négligeant les problèmes sociaux (Anthopoulos 2017, Grossi & Pianezzi 2017, Yigitcanlar 2016). Certains chercheurs expliquent cela par le fait que les villes se précipitent à devenir leader en matière d'innovation technologique et de génération de la connaissance (Edvardsson et al. 2016, Yigitcanlar et al. 2017, Angelidou 2017). De ce fait, les politiques publiques sont plus orientées dans ce sens.

Néanmoins, il existe plusieurs critiques virulentes à l'encontre des défenseurs de la première position (techno-centrique). Shin (2009 & 2010) a démontré de manière empirique l'inefficacité de ce modèle. Pour (Alizadeh 2017), la popularité du concept Smart City a été fortement encouragé par les grandes sociétés mondiales de technologie, de développement et de conseil (IBM, Forrester Research, CISCO, KPMG).

IBM emploie plus de 100 chercheurs dans le domaine des villes intelligentes. En 2012, l'entreprise était la principale organisation mondiale en termes d'auteurs, de productivité et d'influence sur le développement dans ce domaine de recherche (Mora et al. 2017). D'autres chercheurs évoquent la complexité des problématiques urbaines et la pluralité des intervenants, ce qui pousserait les villes à conduire des actions smart, ponctuelles. Rappelons tout de même qu'un projet Smart City (dans sa globalité) représente un investissement important et coûteux. Il est censé conduire à des transformations sociétales et environnementales, ce qui complique considérablement sa réalisation (Dall'O et al., 2017; Lu et al., 2019; Mora, Deakin, Reid, et al., 2019).

1.4 Besoins en recherche

En 2011, Harrison et Donnelly, ont qualifié les initiatives de villes intelligentes d'empiriques, ne reposant pas sur une base scientifique commune et solide. Personne ne sait réellement ni pourquoi ni comment les choses fonctionnent. Dans un même sens, selon Lee et al., 2014, les recherches et les initiatives Smart City sont encore à un stade préliminaire, car « l'écart de connaissance entre la théorie et la pratique n'a pas encore été comblé ».

Plusieurs études se sont interrogées sur la manière de concevoir et de mener à bien une stratégies Smart City à l'échelle de la ville, « capable d'être un sujet pertinent de recherche » (Mora et al. 2017, Bolici et Mora, 2015; Komninos,2014 ; Zygiaris, 2013 ; Lazaroiu et Roscia 2012).

Selon (Mora et al. 2017), les connaissances nécessaires pour comprendre le processus de construction de villes intelligentes efficaces dans le monde réel n'ont pas encore été produites, pas plus que les outils de soutien des acteurs impliqués dans cette activité. Une année plus tard, (Yigitcanlar et al. 2018) soulèvent le fait que les efforts déployés pour comprendre la Smart City de façon exhaustive et multidimensionnelle sont très limités. En effet, l'implémentation du concept est généralement concentrée sur certains aspects seulement. Ils expliquent cela par un manque de compréhension conceptuelle solide et unanime, scientifiquement fondé. Toujours selon les mêmes chercheurs, (Yigitcanlar et al. 2018), le retard dans la conceptualisation entrainera des politiques inefficaces, des décisions d'investissement médiocres, ce qui empêchera de répondre correctement aux défis de l'urbanisation de manière adéquate.

(Caragliu et Del Bo 2019) ont souligné le fait que la plupart des initiatives de villes intelligentes ne sont pas intégrées aux mécanismes de planification urbaine de la ville. (Yigitcanlar et al. 2019) expliquent cela en deux temps. D'abord par l'inexistence d'un cadre solide pour associer le concept de Smart City aux processus de planification et de développement urbains. S'ajoute à cela un manque de clarté quant aux résultats attendus de ces projets.

Pour sa part, (Angelidou 2017) estime que la conception de la Smart City est toujours confuse et que plusieurs ambiguïtés subsistent sur la façon d'y parvenir. De plus, elle juge que les stratégies de villes intelligentes déjà initiées sont mal adaptées pour répondre aux besoins locaux et ne tiennent pas compte des questions de confidentialité et de sécurité. Ce constat est étayé par (Caragliu & Del Bo 2019). Pour eux, les initiatives actuelles sont ponctuelles et mono-centriques.

1.5 Conclusion

La synthèse bibliographique montre que le concept « Smart City » est susceptible d'apporter une réponse pertinente aux défis auxquels font face les villes. Mais, il ressort de la littérature à plusieurs endroits que la conception de la Smart City est toujours confuse. Cela est liée au manque de connaissances et d'expérience sur la manière de concevoir et de conduire réellement une initiative Smart City dans sa globalité et d'éviter qu'elle soit l'agglomérat de projets isolés.

Sur le plan pratique, de multiples questions se posent pour des villes intéressées par la transformation Smart City : Que signifie ce concept pour le territoire ? Comment peut-il aider à faire face aux problèmes de la ville ? Quels sont les retours économiques et sociétaux de ce concept ? Comment associer les différents acteurs de la ville ? Quel est le modèle de gouvernance adéquat ? Comment financer ce type de projet ? Et plus généralement comment engager et conduire ce type de stratégie ?

Le présent travail se donne comme objectif d'apporter des éléments de réponse à ces questions avec un intérêt particulier pour les villes moyennes et petites à travers l'établissement d'une méthodologie pour le démarrage, la conduite et l'évaluation de ce type de projets.

2 Chapitre II : Méthodologie de recherche

2.1 Introduction

Ce chapitre est consacré à la méthodologie proposée pour la réalisation de ce travail de recherche. Comme tout travail de recherche, la méthodologie commence par un questionnement. Nous procédons ensuite, à la collecte d'informations scientifiques, technologiques et méthodologiques sur le sujet.

L'état de l'art réalisé au chapitre précédent nous a permis d'une part de tenir compte des apports existants, d'autre part de définir les besoins en matière de recherche à mener.

Ainsi, une fois ces besoins en matière de recherche définis, nous procédons à la réalisation des travaux d'investigations et/ou de modélisation de manière à créer de nouvelles informations à même de pouvoir répondre à la question posée.

L'application de cette méthodologie au sujet de thèse est présentée dans ce chapitre, elle se décline en quatre temps. Le premier concerne la clarification de la question de la smart city, le second porte sur le processus d'élaboration d'une stratégie smart city. Le troisième concerne la première phase du déploiement, à savoir la phase du diagnostic. Le dernier est consacré quant à lui, à l'évaluation de la démarche smart city.

2.2 Fixer les idées sur le concept smart city

2.2.1 Quel concept pour la smart city ?

La recherche bibliographique a montré l'existence de très nombreux travaux et définitions sur le concept smart city. Ces travaux peuvent être classés d'après leurs centres d'intérêt pour transformer la ville : (i) transformations basées sur la technologie numérique par un usage accru de l'internet des objets (IoT), des données et de l'intelligence artificielle (ii) transformations sociales en mettant le citoyen au cœur de la prise de décision publique (iii) transformation globale associant technologie numérique et participation citoyenne. Le dernier concept est particulièrement intéressant, car il se focalise sur le citoyen et utilise la technologie numérique comme un moyen efficace pour améliorer les services dans la ville et l'efficacité des systèmes urbains.

2.2.2 L'intelligence urbaine

La question de l'intelligence urbaine constitue la colonne vertébrale de toute démarche smart city. D'après Paul Moreau, dans son ouvrage *l'Homme et la ville*, « Réfléchir sur la place de l'homme dans la ville est une entreprise banale [...] parce que la ville, comme toute réalité sociale et culturelle, n'a évidemment de sens que par rapport à l'homme ». Le citoyen doit être mis au cœur de tout processus urbain "intelligent" avec un double objectif : servir le sens même de la ville et garantir le succès du projet.

Nous pouvons dire que la Smart City est un processus de développement urbain, au service du citoyen, qui s'adapte au fil du temps et aux exigences d'une époque donnée, pour améliorer les conditions de vie des habitants. La Smart City ne se substitue pas à la réalité, bien au contraire, elle accompagne toutes les transformations sociales, sociétales et environnementales, tout en se donnant les moyens d'anticipation et d'appréhension.

Ainsi, la notion de Smart City sera en perpétuelle évolution, accompagnant les villes à surmonter les challenges, qui s'imposent, caractéristiques du moment présent. À ce titre, la notion de Smart City doit s'appuyer sur un ensemble de piliers :

- Le premier pas vers l'intelligence urbaine réside dans la capacité de créer des synergies et de la mutualisation entre les différents composants de la ville. L'aspect coopératif et créatif est l'essence même de la smart city, qui a pour vocation de bien remplir des fonctions résidentielles, politiques, économiques, culturelles, sociales, d'éducation, de santé et des services urbains (transport, eau, énergie, communication, ...) (Sokolov et al., 2019)). Si l'une de ces fonctions venait à manquer dans un projet de smart city, l'équilibre urbain serait remis en cause, et nous serions face à des projets isolés technologiques et pas un projet de smart city.

- Le second élément tout aussi capital dans la conception de la smart city, est l'adaptation aux spécificités et exigences locales. Une démarche smart city doit être adaptée à la ville en question. En effet, toutes les villes ne se valent pas. Elles n'ont ni la même morphologie urbaine ni la même morphologie sociale et encore moins la même histoire. De ce fait, l'ordre des priorités diffère entre les villes. Il serait inapproprié d'appliquer ou d'imposer à une ville un modèle venu d'ailleurs.

- Le troisième pilier concerne la démocratie participative, à travers la participation citoyenne. Une ville intelligente doit être co-construite, et tenir compte des différentes sensibilités locales. Il y'a lieu de solliciter, de mobiliser et d'impliquer l'ensemble des acteurs de la ville (pouvoirs politiques, services de l'état, monde associatif, société civile, les

entreprises, le monde industriel, l'univers académique, ...) dans tout processus de développement de la ville. De plus, la démocratie participative est un élément primordial à l'accomplissement du second pilier. En effet, afin de s'assurer de la compatibilité de toute initiative avec les exigences locales, la concertation et la consultation citoyennes sont indispensables.

- Une ville intelligente doit également tenir compte et s'inscrire dans une logique de développement durable. Une initiative smart city s'inscrit dans la durée et la longévité. Elle se doit d'une part « répondre aux exigences du présent sans compromettre les besoins possibles des futures générations ». Elle doit permettre de concilier entre les progrès dans les différents domaines tout en préservant l'équilibre naturel.

- Le cinquième élément constitutif de la smart city concerne la résilience et l'anticipation. Celle-ci vise la protection des populations faces aux risques sécuritaires (terrorismes, délinquance, émeutes, occupations illicites, ...), sanitaires, écologiques et financiers. Avec l'émergence de la technologie numérique, les villes doivent garantir la sécurité de l'information des données personnelles, en assurant de leur confidentialité, intégrité et disponibilité.

- En dernier lieu, la smart city doit intégrer un volet technologique. Nous considérons que celle-ci n'est qu'un moyen pour répondre à des besoins. Tous les piliers présentés ci-dessus ont pour objectif de définir d'une manière précise, les besoins de la ville. Dans ce sens, l'utilisation de la technologie viendra apporter des solutions aux problèmes identifiés.

Pour résumer, l'intelligence urbaine doit associer (Figure 2-1):

- La capacité de créer des synergies et de cibler les possibilités de mutualisation (des moyens et des ressources),
- L'intégration des spécificités et exigences locales,
- La démocratie participative pour construire le projet avec les citoyens,
- Le développement durable,
- La résilience urbaine et la capacité d'anticipation,
- L'intégration des nouvelles technologies.

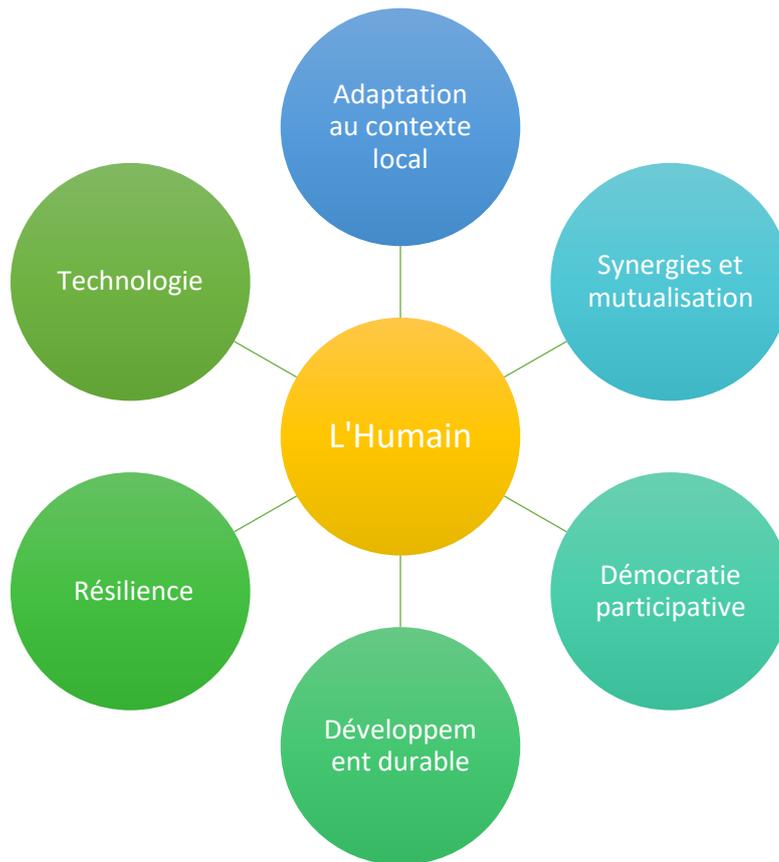


Figure 2-1: Piliers de l'intelligence urbaine (Azlal et al., 2020b)

2.2.3 Processus de mise en place d'un projet smart city

La figure 2-2 montre la démarche globale pour construire un projet smart city. Elle comporte trois phases.

La première phase concerne le diagnostic urbain. Elle a pour but de bien comprendre le contexte et l'environnement de la ville, en particulier les différents acteurs, les défis urbains majeurs en termes économiques, sociaux et environnementaux ainsi que les attentes de la transformation intelligente de la ville. Ces éléments sont collectés auprès des acteurs de la ville pour définir les priorités de transformation et l'architecture de la solution. Cette phase donne lieu à un rapport détaillé avec des recommandations de démarrage par des projets pilotes.

La seconde phase concerne la réalisation des projets pilotes. Chaque projet a pour objectif d'examiner dans le contexte local les difficultés de réalisation (techniques, sociales, économiques, légales, ...) et le retour réel des projets réalisés en termes d'amélioration des services et de qualité de vie. Cette phase donne lieu à des recommandations pour l'extension des projets pilote à l'échelle de la ville.

La dernière phase porte sur l'extension des projets pilotes. Elle démarre par la construction des infrastructures numériques mutualisées (collecte, transmission, stockage et analyse des données). Ensuite, ces infrastructures sont utilisées pour l'extension des projets pilotes à l'échelle de la ville. Cette phase comporte une évaluation technique, économique, sociale et environnementale des projets afin de les ajuster aux attentes de transformation.

Phase 1 : Diagnostic:

- Comprendre la situation actuelle (acteurs, enjeux, attentes...)
- Définir les priorités de transformation
- Construire l'architecture du modèle smart city



Phase 2: Réalisation des projets pilotes:

- Déployer les projets prioritaires à petite échelle (projets pilotes)
- Evaluations sociales, économiques et techniques des projets
- Recommandation pour l'extension des projets pilotes



Phase 3: Extension des projets pilotes:

- Construction des infrastructures numériques
- Extension des projets pilotes
- Evaluation, mises à jour...

Figure 2-2: Phases de construction d'un projet smart city

La section suivante sera consacrée à la phase du diagnostic.

2.3 Phase du diagnostic

2.3.1 Objectifs

La phase du diagnostic a pour but de :

- Réaliser un état des lieux général de l'existant,
- Recenser les ressources disponibles,
- Identifier les différents acteurs,
- Identifier les pistes de réflexion et d'actions,

- Cibler les opportunités d'amélioration,
- Définir les priorités,
- Faire des recommandations.

2.3.2 Comment préparer un diagnostic urbain ?

(Leach et al., 2019) ont reporté l'absence d'un processus holistique et rigoureux pour le diagnostic urbain. Cette observation est confirmée lors de la recherche bibliographique du premier chapitre par le faible intérêt porté par les chercheurs pour la phase du diagnostic. Il convient de définir en premier lieu l'objet, les attentes et les grandes lignes du projet. Il faut ensuite délimiter le périmètre d'intervention du projet. Par périmètre d'intervention, nous entendons deux choses : d'abord le cadre spatial d'intervention (quels territoires sont et seront affectés par ce déploiement), et ensuite le cadre temporel (la durée de l'étude et la durée du déploiement).

Il faut aussi préciser la gouvernance du projet. Nous avons remarqué que ce point est occulté dans la plupart des études consultées, alors qu'elle constitue un élément central pour assurer son succès. On doit identifier l'ensemble des participants et des parties prenantes et un référent pour le projet. Le rôle du référent est d'assurer le lien entre les différents participants. La Figure 2-3 résume les phases préliminaires et préalables à la réalisation d'un diagnostic urbain.

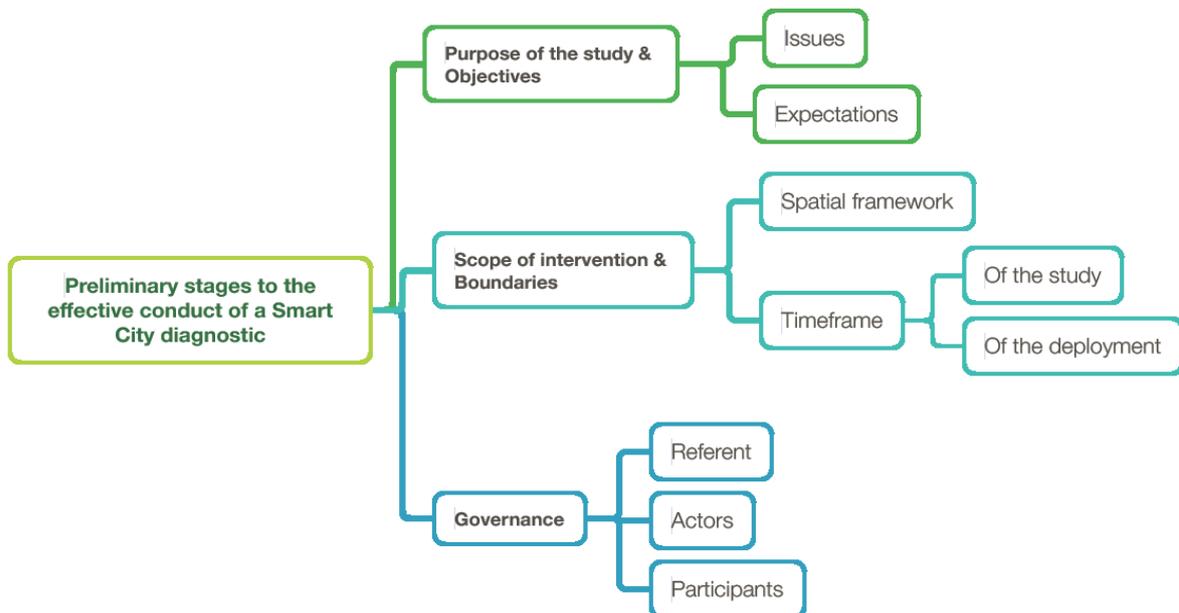


Figure 2-3: Les phases préliminaires à phase du diagnostic (Azlal et al., 2020b)

2.3.3 Déroulement du diagnostic

Le diagnostic urbain comporte trois phases : phase préparatoire, phase d'échange et phase d'analyse (Figure 2-4 et Figure 2-5).

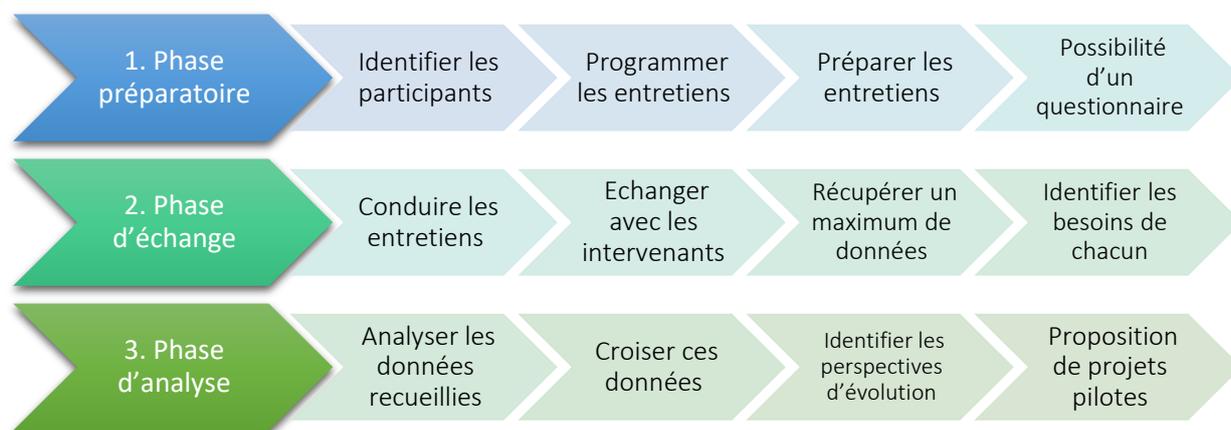


Figure 2-4: Déroulement d'un diagnostic urbain (Azlal et al., 2020b)

La première phase consiste à préparer la phase d'échange. C'est le moment de définir précisément qui participera aux échanges et d'établir un calendrier pour les entretiens. Il faut inclure tous les acteurs de la ville. La démocratie participative doit jouer un grand rôle. Il faudrait développer et encourager l'engagement des citoyens en le consultant et en identifiant leurs demandes et aspirations. Il est possible d'envoyer aux participants un questionnaire avant les rencontres. Cette phase permet de collecter les documents disponibles dans les services de la ville, auprès d'autres acteurs et en accès libre (open data).

La deuxième phase comporte des rencontres avec les différents acteurs pour affiner la connaissance du territoire, identifier les besoins et de compléter les informations et les données.

A l'issue des entretiens, nous disposons, d'une vision claire de l'état des lieux du territoire. Les données sont analysées pour identifier les défis et bien répondre à ces défis dans le cadre des objectifs fixés. Il y a lieu également de croiser les données afin de déceler les points de convergence entre les différentes composantes de la ville.

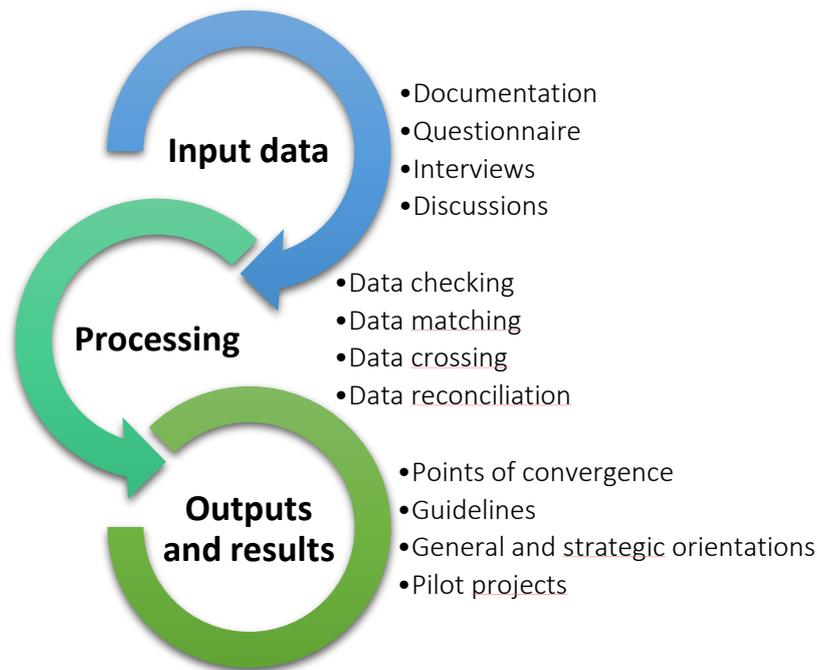


Figure 2-5: Phases du diagnostic de la smart city (Azlal et al., 2020b)

2.4 Projets pilotes

2.4.1 Processus d'identification

Le recours à des projets pilotes a pour but de vérifier sur le terrain la pertinence et la faisabilité de ces projets. Les projets pilotes peuvent être classés en 3 catégories (Figure 2.6) :

- Des projets liés aux infrastructures urbaines (les réseaux enterrés, les installations techniques, les bâtiments, le mobilier urbain, ...).
- Des projets centrés sur le volet social (solidarité, entraide, associations, ...).
- Des projets d'organisation des services publics (fonctionnement des services et des directions de la ville).

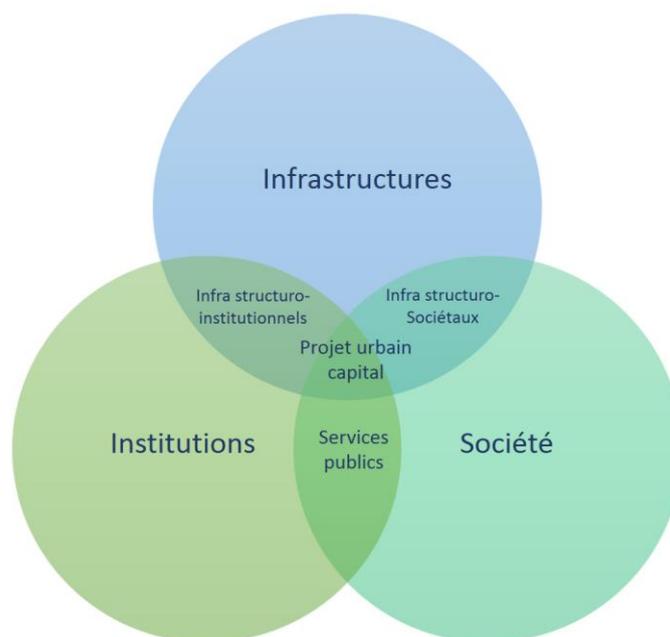


Figure 2-6: Catégories des projets smart

2.4.2 Sélection des projets pilotes

2.4.2.1 Indicateurs et système de notation

La sélection des projets doit être basée sur des indicateurs. Nous proposons d'utiliser 9 indicateurs pour classer et sélectionner les projets de la smart city (Tableau 2-1).

Tableau 2-1: Liste des indicateurs pour la sélection des projets pilotes smart city

No.	Indicateurs
1	Investissement (SI)
2	Retombées Sociales (SRS)
3	Retombées Économiques (SRE)
4	Retombées Environnementales (SRV)
5	Délais de réalisation (SD)
6	Barrières d'Implémentation (RIB)
7	Degré d'Interopérabilité (I)
8	Compétences et Ressources Humaines (HC)
9	Acceptation Sociale (SV)

Indicateur "Investissement"

Cet indicateur concerne l'investissement nécessaire à la réalisation d'un projet. Il doit mesurer le retour sur l'investissement. L'objectif est de maximaliser ce retour.

Indicateur "Retombées Sociales"

L'indicateur "Retombées Sociales" a pour objectif de mesurer les retombées sociales du projet pour les habitants. Cet indicateur est particulièrement important pour les projets centrés sur le citoyen.

Indicateur "Retombées Économiques"

Cet indicateur permet de mesurer l'impact économique d'un projet en termes de développement économique, d'attractivité, de création d'emplois et de richesse. Cet indicateur est particulièrement important pour tout développement urbain.

Indicateur "Retombées Environnementales"

Cet indicateur porte sur l'impact environnemental du projet en termes de préservation des ressources, réduction des consommations d'énergie fossiles et de la pollution. Il concerne aussi les émissions des gaz à effets de serres, le réchauffement climatique et les espaces verts.

Indicateur "Délais de réalisation"

Cet indicateur prend compte de l'aspect temporel pour la réalisation d'un projet. Bien qu'une démarche Smart City s'inscrive dans une vision à long termes, les délais de réalisation d'un projet constituent un critère important dans le choix définitif du projet.

Indicateur "Barrières d'implémentation"

Cet indicateur concerne l'identification des obstacles ou barrières juridiques, institutionnels économiques, sociétales et environnementales que peut rencontrer le projet. Certains obstacles peuvent être bloquants, d'autres peuvent être surmontés. Il convient donc d'identifier ces obstacles ainsi que leurs degrés de sévérité.

Indicateur "Degré d'Interopérabilité"

Cet indicateur mesure la possibilité de mutualiser les moyens de différents projets avec l'objectif de réduire les coûts de réalisation et l'efficacité des projets.

Indicateur "Compétences et Ressources Humaines"

L'indicateur "Compétences et Ressources Humaines" a pour but de mesurer la disponibilité au sein de la ville des compétences pour la mise en place et la gestion du projet smart city. Cette disponibilité est indispensable au succès de tout projet "Smart City". La mesure de cet indicateur permet aussi d'établir un programme de formation et de montée en compétences pour les agents et collaborateurs de la ville.

Indicateur "Acceptation Sociale"

L'indicateur "Acceptation Sociale" a pour but de mesurer le degré d'acceptation ou d'opposition de la population du projet. Une opposition au projet constitue un obstacle majeur qu'il faudra intégrer dans le choix définitif du projet ainsi que dans la phase de préparation et de réalisation pour réduire cette opposition.

La sélection des projets est basée sur les notes attribuées aux indicateurs par les acteurs de la ville. Nous avons défini une approche semi-quantitative basée sur le système de notation donné dans le tableau 2.2.

Tableau 2-2: Système de notation des indicateurs des projets smart city

Indicateur / Note	1	2	3	4	5
Investissement	Très important	Important	Moyen	Faible	Très faible
Retombées Sociales	Très faibles	Faibles	Moyennes	Importantes	Très importantes
Retombées Économiques	Très faibles	Faibles	Moyennes	Importantes	Très importantes
Retombées Environnementales	Très faibles	Faibles	Moyennes	Importantes	Très importantes
Délais de Réalisation	Très important	Important	Moyen	Faible	Très faible
Barrières d'Implémentation	Très important	Important	Moyen	Faible	Très faible
Degré d'interopérabilité	Très faible	Faible	Moyen	Important	Très important
Compétences et Ressources Humaines	Très faible	Faible	Moyenne	Importante	Très importante
Acceptation Sociale	Très faible	Faible	Moyenne	Importante	Très importante

2.4.3 Classement des projets avec la méthode SWARA

Le classement des projets est effectué à l'aide des techniques multi critères d'aide à la décision. Ces techniques permettent d'établir un ordre de classement des indicateurs à partir des notes attribuées par les acteurs de la ville (Hashemkhani Zolfani et al., 2018). Les techniques multi-attributs (MADM) sont des outils puissants pour classer ou sélectionner une ou plusieurs alternatives parmi un ensemble d'attributs disponibles en fonction d'attributs multiples (Keršulienė et al., 2010; Llamazares, 2019). Selon des spécialistes des sciences de gestion, le recours aux techniques MADM augmente la fiabilité de la prise de décision, car il facilite les processus de décision (Feng & Lai, 2014). Dans le contexte de la prise de décision multi-attributs (MADM), l'évaluation de chaque alternative sur l'ensemble des objectifs facilite la sélection (Chen & Han, 2018). Il existe dans la littérature plusieurs méthodes de déterminations du poids des attributs (Alinezhad & Khalili, 2019; Chin et al., 2015; Escolar et al., 2019; Fu et al., 2018; Keršulienė et al., 2010; Llamazares, 2019). Nous pouvons classer ces méthodes en 4 catégories :

- Méthodes subjectives (également appelées méthodes à explication directe)
- Méthodes objectives (également appelées méthodes à explication indirecte)
- Méthode de jugement d'expert (basé sur le questionnaire d'expert)
- Méthodes intégrées (la combinaison de plusieurs méthodes),

Seuls des facteurs de pondération bien fondés doivent être utilisés car les facteurs de pondération sont toujours subjectifs et pourraient influencer le résultat final (Keršulienė et al., 2010; Yücenur et al., 2020).

La méthode SWARA a été sélectionnée pour déterminer le poids des indicateurs. Cette méthode a été proposée par Keršulienė et al. (2010). Selon (Hashemkhani Zolfani et al., 2018), la méthode SWARA offre les avantages suivants :

- La capacité d'estimer l'opinion des experts sur le rapport d'importance des critères dans le processus de détermination du poids.
- Son utilité pour coordonner et recueillir des données auprès d'experts.
- Elle est simple, convivial, et les experts peuvent facilement travailler ensemble.
- Elle considère les problèmes prioritaires en fonction des politiques des entreprises.

(Karabasevic et al., 2015) ont montré que la méthode SWARA donne l'opportunité pour les décideurs de prendre des décisions en fonction des différentes situations et de hiérarchiser les critères en fonction de leurs besoins et objectifs. De ce fait, la méthode SWARA a été identifiée comme un outil applicable dans le processus de prise de décision et d'élaboration de politiques aux plus hauts niveaux des entreprises et même au sein des collectivités. (Escolar et al., 2019; Hashemkhani Zolfani et al., 2018; Karabasevic et al., 2016).

Pour utiliser cette méthode, il convient de classer les critères par ordre d'importance. Le critère le plus important sera au rang 1. La méthode octroie aux experts un rôle important dans l'évaluation des critères et des pondérations. Chaque expert détermine selon lui, l'importance des indicateurs. Ainsi, le classement des résultats globaux obtenu par chaque indicateur, permet de les classer. La figure 2-7 décrit le processus d'application de la méthode SWARA selon (Keršulienė et al., 2010).

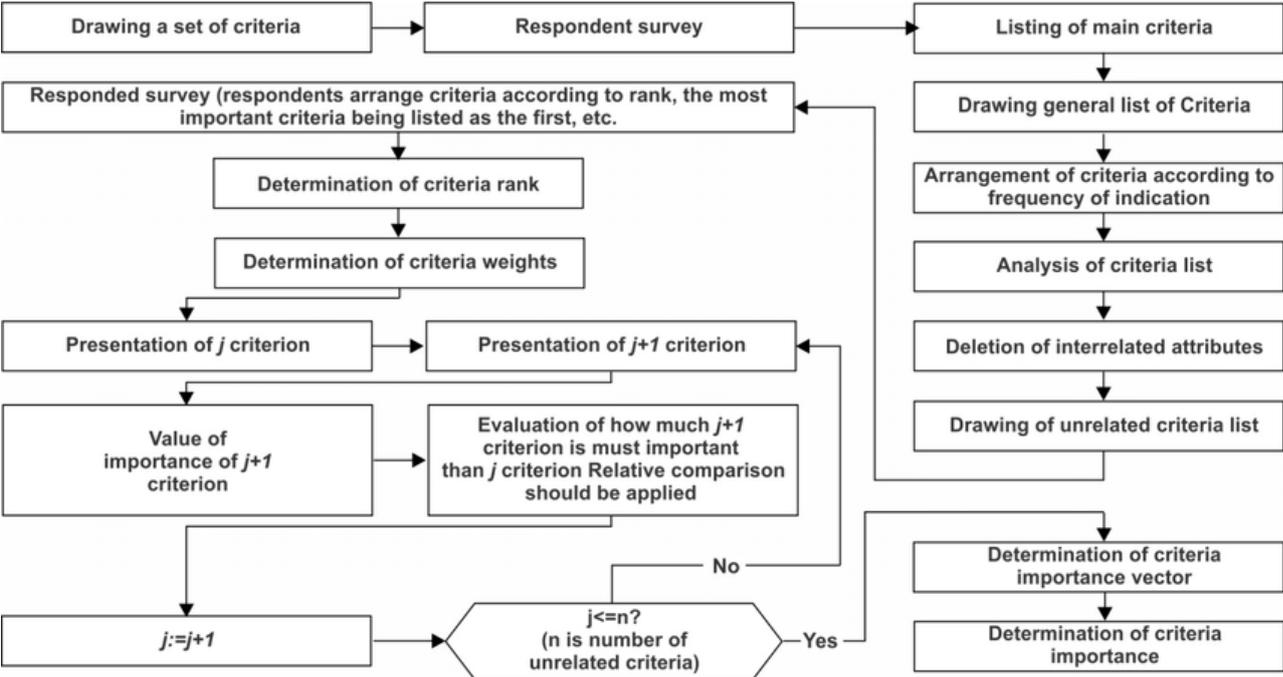


Figure 2-7: Processus d'application de la SWARA (Kersulienne et al. 2010)

2.5 Évaluation

Dans cette section, nous proposons une procédure pour évaluer la démarche smart city. Il s'agit d'une procédure de contrôle qualité pour s'assurer du bon déroulement du déploiement de la stratégie. Elle identifie les éventuels écarts entre les valeurs cibles et les réalisations. En cas d'écart, les responsables de la démarche ainsi que les décideurs peuvent effectuer des ajustements ou des orientations.

L'évaluation doit être basée sur des indicateurs. Cette section présente les indicateurs pour la phase "diagnostic".

2.5.1 Implication des acteurs de la ville

Cette catégorie d'indicateurs renseigne sur l'implication effective des acteurs de la ville dans le processus smart city, ainsi que leur niveau d'adhésion. Le tableau 2-3 donne la liste des acteurs d'une ville (modèle). Pour chaque acteur, il faut déterminer à partir des données objectives le degré de son implication sur une échelle de 1 à 5 (1 : Très faible, 2 : Faible, 3 : Moyen, 4 Fort et 5 : Très fort). Dans la liste des acteurs, on trouve (i) les citoyens à travers les associations et les différents conseils, (ii) les services et départements de la ville, (iii) les acteurs économiques, (iv) les fournisseurs des services urbains tels que le transport, l'eau, l'énergie, le traitement des déchets ménagers. (v) les autres collectivités (Métropole, Communauté d'Agglomération, Département, Région), et (i) les services de l'état concernés par la ville.

Tableau 2-3: Acteurs de la ville

Acteur	Degré d'implication (1 à 5)
Citoyens (Associations, Conseils de quartiers....)	
Services et département de la ville	
Acteurs économiques	
Fournisseurs des services urbains (Transport, eau, énergie,...)	
Autres collectivités (Métropole, Communauté d'Agglomérations, Département, Région,...)	
Services de l'état	

2.5.2 Préparation des données préalables

La qualité du diagnostic dépend fortement de la préparation des données et des informations sur la ville. Ces données sont essentielles pour bien comprendre la composition sociale et économique de la ville, les difficultés sociales, économiques et environnementales, les projets réalisés et leurs impacts, les projets en cours. Les données préalables se trouvent généralement sous diverses formes : digitales, papiers, dans la mémoire des acteurs... Le tableau 2.4 donne une liste des principales données à collecter. Cette liste est très large. Elle montre à la fois la complexité de la ville et sa richesse. Ces données sont essentielles pour construire une vision rationnelle de la ville, de ses composantes, activités et difficultés. L'absence des données doit être signalée et prise en compte dans l'échange avec les acteurs.

Tableau 2-4: Indicateurs sur la collecte des données préalables

Domaine	Qualité des données collectées (1 à 5)
Informations générales sur la ville (démographie, catégories sociales, chômage,)	
Société Civile (associations, clubs,)	
Acteurs et activités économiques	
Environnement (qualité de l'air, de l'eau, des sols,..)	
Services de la ville (organigramme, effectifs,...)	
Budget (recettes, dépenses, endettement,..)	
Bâtiments municipaux	
Voirie et place publiques	
Propreté	
Tranquillité	
Habitat (qualité,...)	
Mobilité (mode et fréquentation)	
Services de distribution de l'eau	
Service d'assainissement	
Service d'électricité	
Éclairage public	
Service de gaz	
Couverture internet	
Couverture mobile	
Activités culturelles et artistiques	
Tourisme	
Éducation (Écoles, universités,..)	
Santé (Hôpitaux, médecins,...)	
Services aux personnes âgées	
Services dématérialisés	

(1 : Très faible, 2 : Faible, 3 : Moyenne, 4 Bonne et 5 : Très bonne)

2.5.3 Qualité des échanges avec les acteurs

Cette catégorie d'indicateurs informe les responsables du projet sur la qualité des échanges avec les acteurs (Tableau 2-5). Cette qualité peut être quantifiée sur une échelle de 1 à 5 à partir des échanges d'informations et de la contribution des acteurs à travers l'expression des besoins, des solutions, des données et du retour d'expérience (1 : Très faible, 2 : Faible, 3 : Moyenne, 4 Bonne et 5 : Très bonne). En cas de mauvais score, il est nécessaire d'échanger avec les responsables politiques sur les causes de ce score et les modalités pour y remédier.

Tableau 2-5: Indicateurs qualité des échanges avec les acteurs

Acteur	Qualité des échanges (1 à 5)
Citoyens (Associations, Conseils de quartiers....)	
Services et département de la ville	
Acteurs économiques	
Fournisseurs des services urbains (Transport, eau, énergie,.....)	
Autres collectivités (Métropole, Communauté d'Agglomérations, Département, Région,...)	
Services de l'état	

2.5.4 Niveau de compétences (disponibilité des ressources humaines)

La démarche smart city constitue une transformation profonde des processus des projets urbains, des relations avec l'environnement humain et technique et des méthodes de gestion. Elle nécessite un accès aux services digitaux et une bonne disposition pour l'utilisation des services numériques et des services mutualisés. Ces informations sont regroupées dans un tableau (Tableau 2-6), qui est nécessaire pour établir des programmes de formation spécifiques pour les acteurs ayant une déficience dans les compétences requises.

Tableau 2-6: Indicateurs "niveau de compétences"

Acteur	Niveau de compétences (1 à 5)
Citoyens (Associations, Conseils de quartiers, ...)	
Services et département de la ville	
Acteurs économiques	
Fournisseurs des services urbains (Transport, eau, énergie,)	
Autres collectivités (Métropole, Communauté d'Agglomérations, Département, Région,...)	
Services de l'état	

(1 : Très faible, 2 : Faible, 3 : Moyenne, 4 Bonne et 5 : Très bonne)

2.5.5 Qualité du projet établi

Il est nécessaire d'avoir des indicateurs qui informent sur la qualité du projet établi à partir de la phase de diagnostic. Le tableau 2.7 donne une liste d'indicateurs qui permettent d'évaluer cette qualité. Ils concernent l'identification des besoins et des difficultés de la ville, les projets de base 'piliers' de la smart city, les infrastructures numériques (réseaux de communications, hébergement et analyse des données, plateforme,...), la disponibilité des solutions "smart", l'impact attendu projet smart, la disponibilité des ressources financières, les obstacles et barrières à l'implémentation du projet, l'analyse de risque et les solutions associées, la mutualisation entre les projets, l'implication des secteurs public, privé et des citoyens, l'intégration du projet smart dans les projets de développement urbain et l'impact du projet sur le développement durable, développement économique et la gouvernance participative.

Tableau 2-7: Indicateurs "qualité du projet"

Domaine	Score (de 1 à 5)
Identification des priorités et des besoins de transformations	
Identification des projets piliers et de leurs impacts	
Identification des infrastructures "smart" communes	
Identification des solutions "smart" et leurs niveaux de maturité	
Identification de l'impact de la solution smart city	
Disponibilités des ressources financières	
Barrières de transformation et solutions pour les surmonter	
Analyse de risques de déploiement du projet et des solutions associées	
Niveau de mutualisation entre les projets	
Implication du secteur privé	
Implication du secteur public	
Implication des citoyens	
Intégration des projets "smart" dans des projets de développement urbain	
Impact du projet sur le développement durable de la ville	
Impact du projet sur l'activité économique	
Impact du projet sur la gouvernance participative	

L'analyse des indicateurs doit être complétée par une analyse SWOT (Tableau 2.8) qui permet de bien identifier les atouts, les faiblesses internes, les opportunités futures et les menaces extérieures.

Tableau 2-8: Analyse SWOT de la démarche smart city

Atouts et forces (Internes)	Faiblesses (internes)
Opportunités (intérieures et extérieures)	Menaces (extérieures)

2.6 Conclusion

Ce chapitre a présenté la méthodologie suivie dans ce travail, qui a été développée à partir de l'analyse bibliographique et des échanges avec des acteurs de la ville et des spécialistes de la ville intelligente.

Il est nécessaire de bien poser la question de la smart city à travers ses objectifs et ses relations avec l'intelligence urbaine.

La construction de la "smart city" constitue une transformation radicale, profonde et durable de la ville. Elle doit être établie d'une manière méthodologique avec trois étapes majeures : diagnostic, projets pilotes et extension des projets pilotes à l'ensemble de la ville.

La phase du diagnostic est essentielle pour la réussite du projet. Elle a pour but de réaliser un état des lieux général de l'existant, recenser les ressources disponibles, identifier les différents acteurs, identifier les pistes de réflexion et d'actions, cibler les opportunités d'amélioration, de définir les priorités et d'émettre des recommandations.

Les projets pilotes ont pour but de tester dans une expérimentation à grande échelle la faisabilité du projet et de mesurer son impact. Le choix des projets pilotes doit être effectué sur la base d'indicateurs, notamment l'investissement, les retombées sociales, les retombées économiques, les retombées environnementales, les délais de réalisation, les arrières d'implémentation, le degré d'Interopérabilité, les compétences et Ressources Humaines, et l'acceptation sociale.

L'évaluation du projet est aussi un élément majeur de son succès. Elle doit également être effectuée sur la base d'indicateurs. Pour la phase de diagnostic, ces indicateurs doivent renseigner sur le processus de préparation et du déploiement, notamment, l'implication des acteurs de la ville, la préparation des données préalables, la qualité des échanges avec les acteurs, l'adhésion des acteurs au projet, le niveau de compétences (collectives) et la qualité du projet établi. Cette évaluation doit être complétée par une analyse SWOT.

Dans le chapitre qui suit, nous aurons l'occasion de mettre en pratique, dans le cas d'une ville réelle, la méthodologie que nous venons de développer.

3 Chapitre III : Application de la démarche Smart City à la ville de Saint Quentin.

3.1 Introduction

Ce chapitre présente l'application à la ville de Saint-Quentin de la méthodologie de recherche développée au second chapitre. Le chapitre présente d'abord la ville sous ses différentes facettes, notamment sociales, économiques et infrastructures urbaines. Ensuite, le chapitre présente la démarche mise en place pour déployer la stratégie Smart City. D'abord la phase de diagnostic urbain, avec un intérêt particulier pour la collecte des données, l'échange avec les acteurs de la ville, l'identification des priorités de transformations et les projets pilotes.

3.2 Présentation de la ville de Saint-Quentin

3.2.1 Géographie et emplacement

Saint-Quentin est une commune française, sous-préfecture du département de l'Aisne (02), dans la région Hauts-de-France. Avec une population municipale de 53 816 habitants (2017), c'est la commune la plus peuplée du département, et au neuvième rang à l'échelle régionale. Elle s'étend sur une superficie de 22.56 km². Depuis le 1^{er} janvier 2017, la commune est également le siège de la communauté d'agglomération du Saint-Quentinois, regroupant 39 communes. La Figure 3-1 représente la carte des cinq départements de la région Hauts-de-France.



Figure 3-1: Carte des villes des Hauts-de-France – © Brad Pict

3.2.2 Démographie, population et société

Remarque : L'ensemble des données exposées dans cette section sont issues du site web de l'INSEE.

La richesse d'une ville provient en premier lieu de ses habitants. La Figure 3-2 représente l'évolution de la population à Saint-Quentin entre 1968 et 2017. On remarque que la tendance est à la baisse depuis le siècle dernier. Saint-Quentin se vide peu-à-peu de ses habitants. En l'espace de 50 ans, la ville a perdu plus de 10 000 de ses habitants.

En d'autres termes, la population de la commune est passée de 64 196 habitants en 1968 à 53816 habitants en 2017 soit une baisse d'environ 20%.

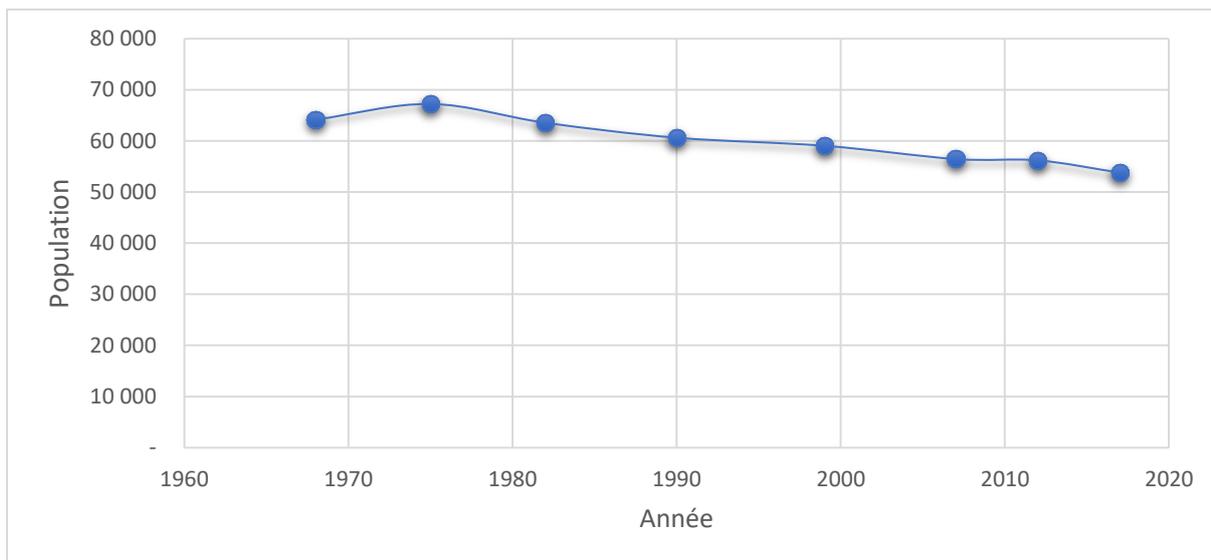


Figure 3-2 : Évolution de la population entre 1968 et 2017

Nous nous sommes également intéressés à la taille des ménages. La Figure 3-3 représente la variation de la taille des ménages entre 1968 et 2017. Ici aussi, nous remarquons que la taille des ménages a elle aussi diminué tout au long des années. Elle est passée de 3,1 individus en 1968 à 2,5 individus en 1990 pour arriver à 2 individus par ménage en 2017.

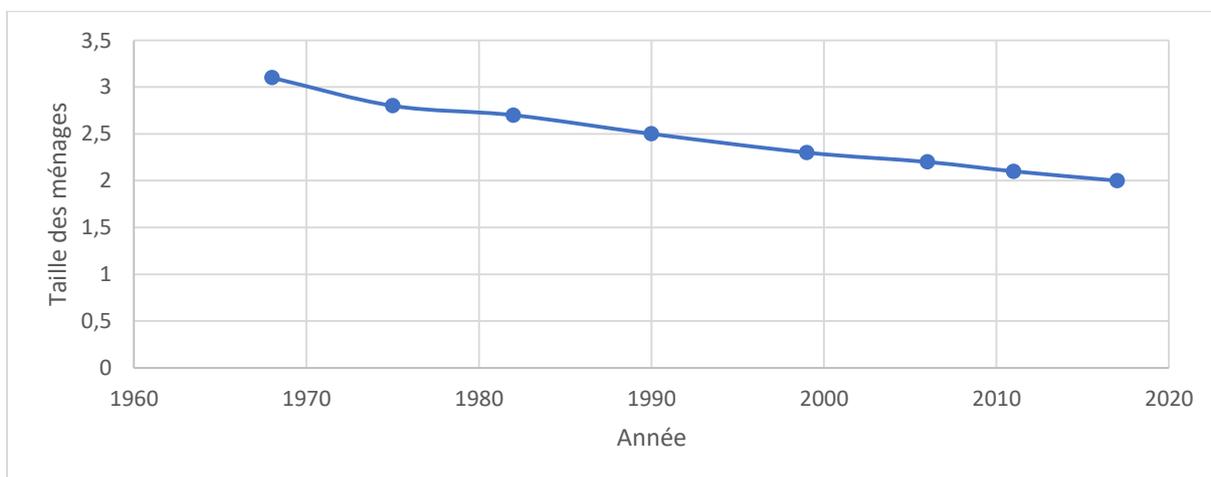


Figure 3-3 : Évolution de la taille des ménages entre 1968 et 2017

L'histogramme ci-dessous (Figure 3-4) nous montre l'évolution de la population par tranches d'âges entre 2007 et 2017.

Au-delà de la diminution du nombre d'habitants, la différenciation entre les tranches d'âges nous permet de constater que sur ces 10 dernières années, la part des jeunes et des adultes de moins de 60 ans a diminué, tandis que la part des personnes très âgées a augmenté. En effet,

nous constatons que toutes les tranches d'âges ont connu une baisse bien que légère entre 2007 et 2017 sauf les personnes âgées de 60 à 74 ans et ceux âgés de 75 ans et plus (le pourcentage de la population ayant augmenté de 15% environ durant la même période).

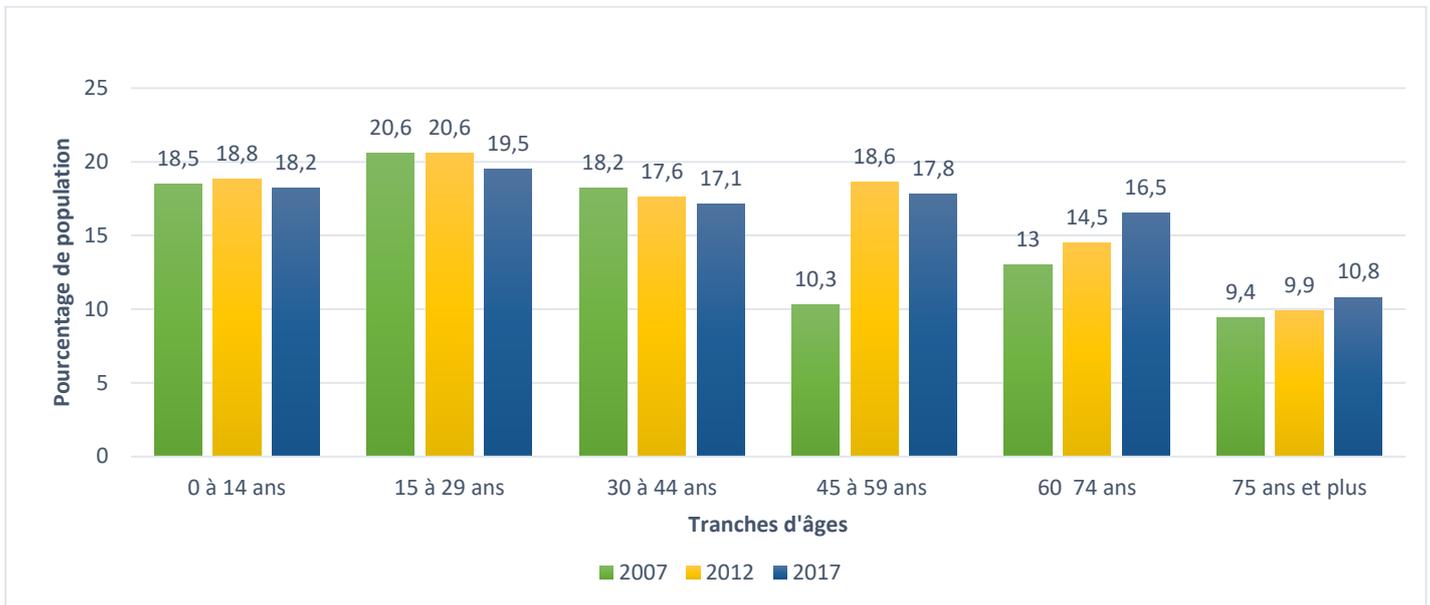


Figure 3-4 : Évolution de la population par tranches d'âges entre 2007 et 2017

Nous avons représenté à la Figure 3-5 le pourcentage de la population des personnes vivants seuls pour différentes tranches d'âge. Nous remarquons qu'entre 2012 et 2017, le nombre de personnes vivants seuls a augmenté, sans distinctions de tranches d'âges. Nous remarquons également que ce sont les personnes les plus âgées qui vivent seules. En 2017, 58 % des personnes de 80 ans et plus vivaient toutes seules dans leur logement.

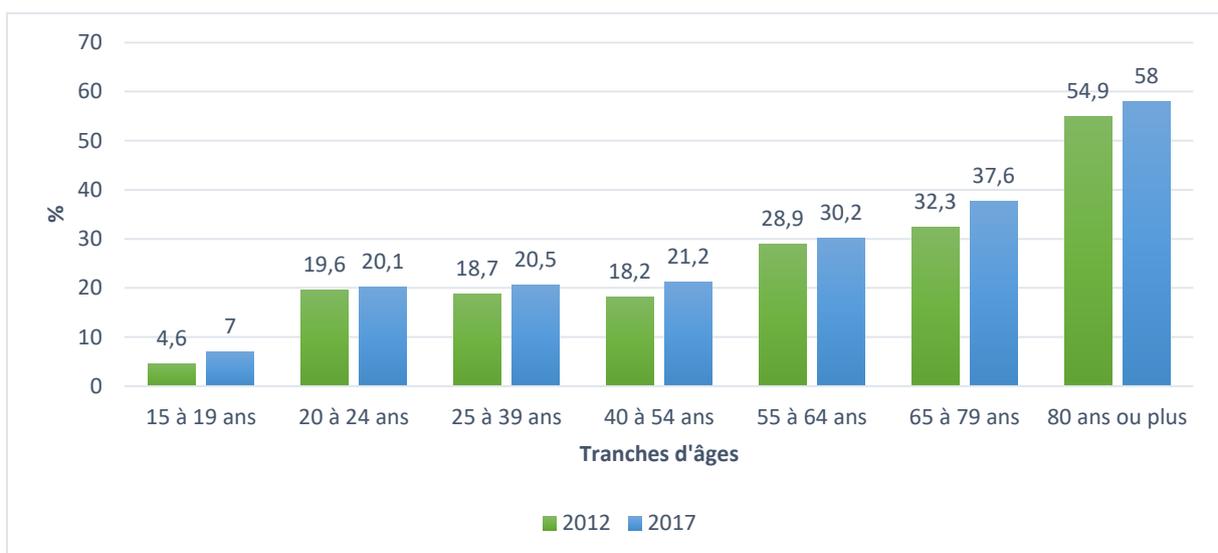


Figure 3-5 : Pourcentage des personnes vivants seuls selon les tranches d'âges en 2012 et 2017

En 2017, la ville de Saint-Quentin comptait 24 385 ménages fiscaux. Seuls 9 510 de ces ménages étaient imposés (soit 39 %), et 6 827 de ces ménages, soit 28 % vivent sous le seuil de pauvreté. La Figure 3-6 représente le taux de pauvreté par tranche d'âge du référent fiscal en 2017. Nous constatons que le taux de pauvreté est particulièrement élevé chez les jeunes de moins de 30 ans. En effet, 40% de cette tranche d'âge vit sous le seuil de pauvreté. En revanche, les personnes âgées de plus de 75 ans sont les moins impactés par la pauvreté : seulement 9% de cette tranche d'âge vit sous le seuil de pauvreté.

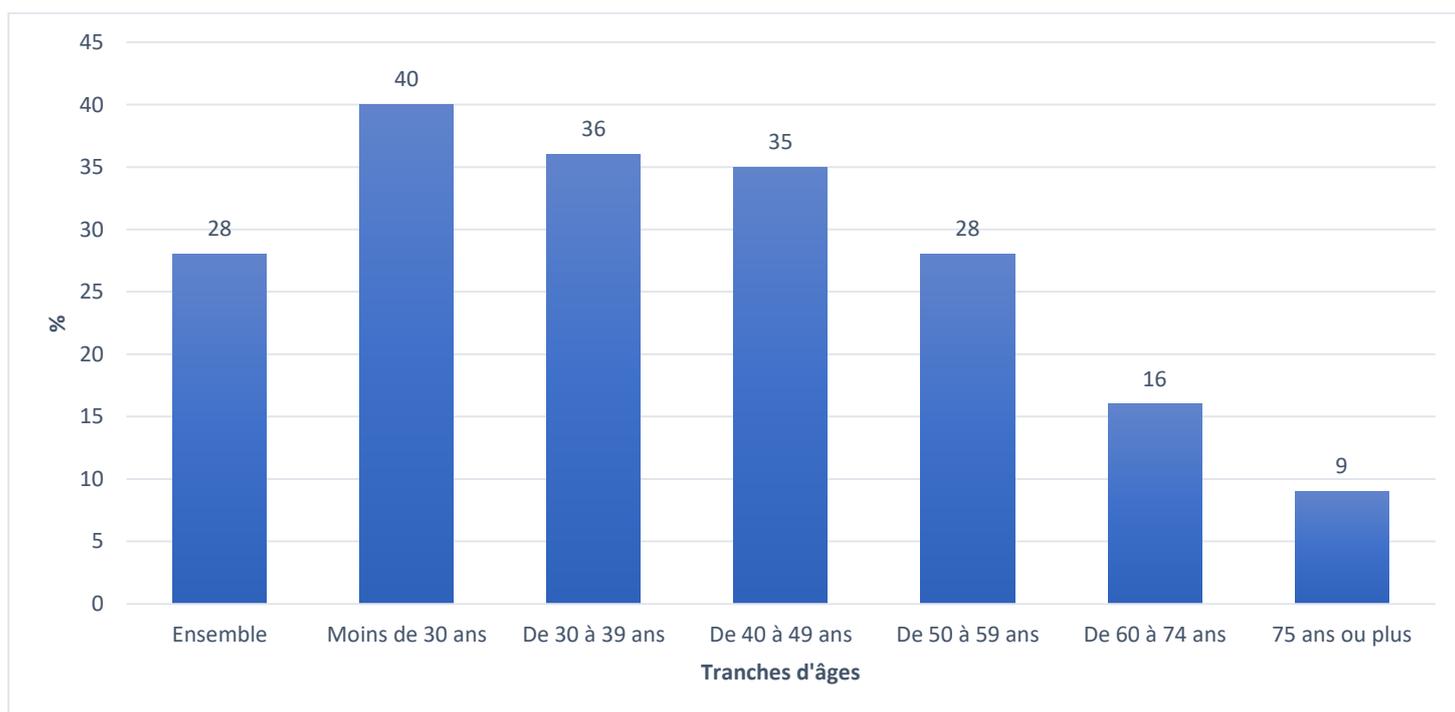


Figure 3-6 : Taux de pauvreté par tranche d'âge du référent fiscal en 2017

3.2.3 Emploi et économie

Comme toutes les villes françaises, Saint-Quentin n'a pas été épargnée par le chômage et plus particulièrement par la crise financière de 2008. L'histogramme ci-dessous (Figure 3-7), nous renseigne sur le taux de chômage, son évolution entre 2007 et 2017, ainsi que sa répartition entre les différents sexes.

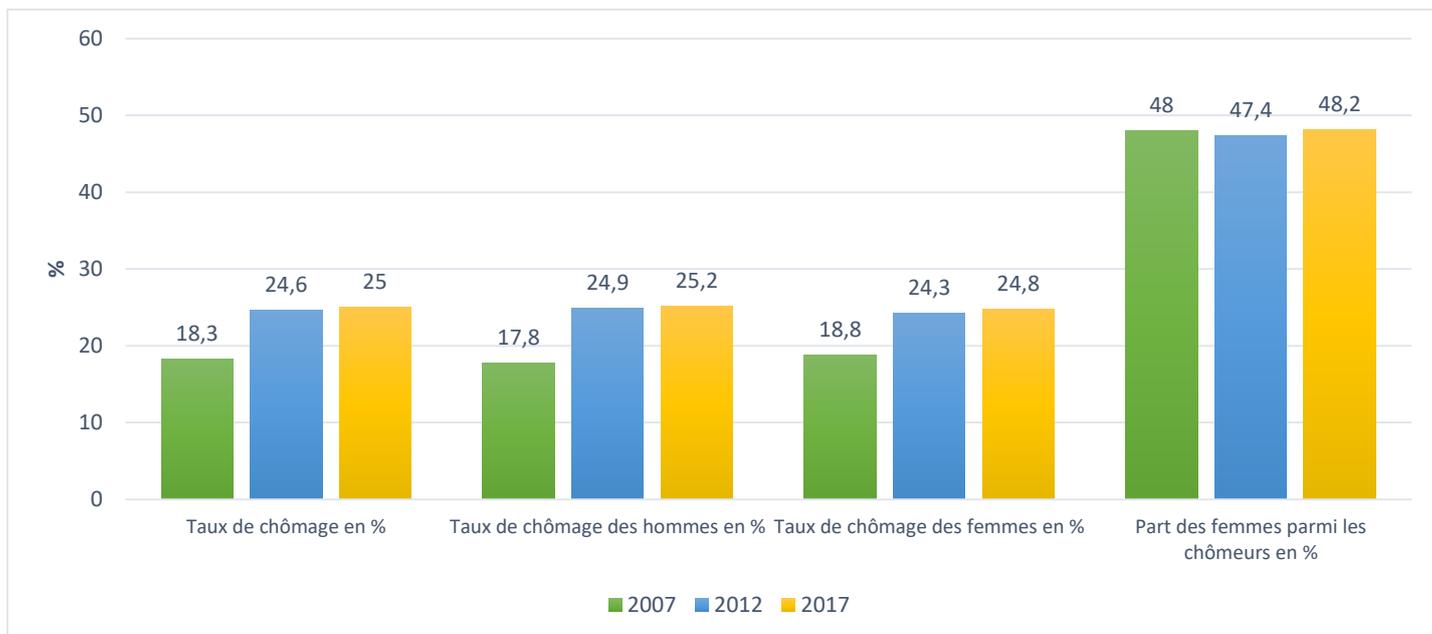


Figure 3-7 : Évolution du taux de chômage en pourcentage de population entre 2007 et 2017

Nous constatons que le taux de chômage durant la période observée a considérablement augmenté entre 2007 et 2012 (plus 6.3 points), et que sa valeur a relativement stagné depuis 2012 au quart de la population (environ 5 550 personnes).

Nous remarquons également que le chômage touche de manière égale les femmes et les hommes étant donné que la part des femmes parmi les chômeurs tourne autour de 48% durant la période observée.

Nous avons représenté à la Figure 3-8 la répartition de la population en fonction des catégories professionnelles entre 2007 et 2017. On peut y remarquer qu'un cinquième de la population est sans activité professionnelle, et que le tiers de la population de Saint-Quentin sont des personnes retraitées (catégorie en augmentation continue passant de 26,9% à 29,6% durant la période observée). On remarque également que sur ces 10 ans, la part des personnes retraitées a augmenté de 3%, celle des personnes sans activité a relativement stagné. En revanche, la proportion des personnes actives a diminué dans son ensemble, seule la part des cadres a connu une légère hausse de 0.2 %. Enfin, nous constatons que les agriculteurs exploitants sont faiblement présents dans la commune puisqu'ils ne représentent que 0,1% de la population totale.

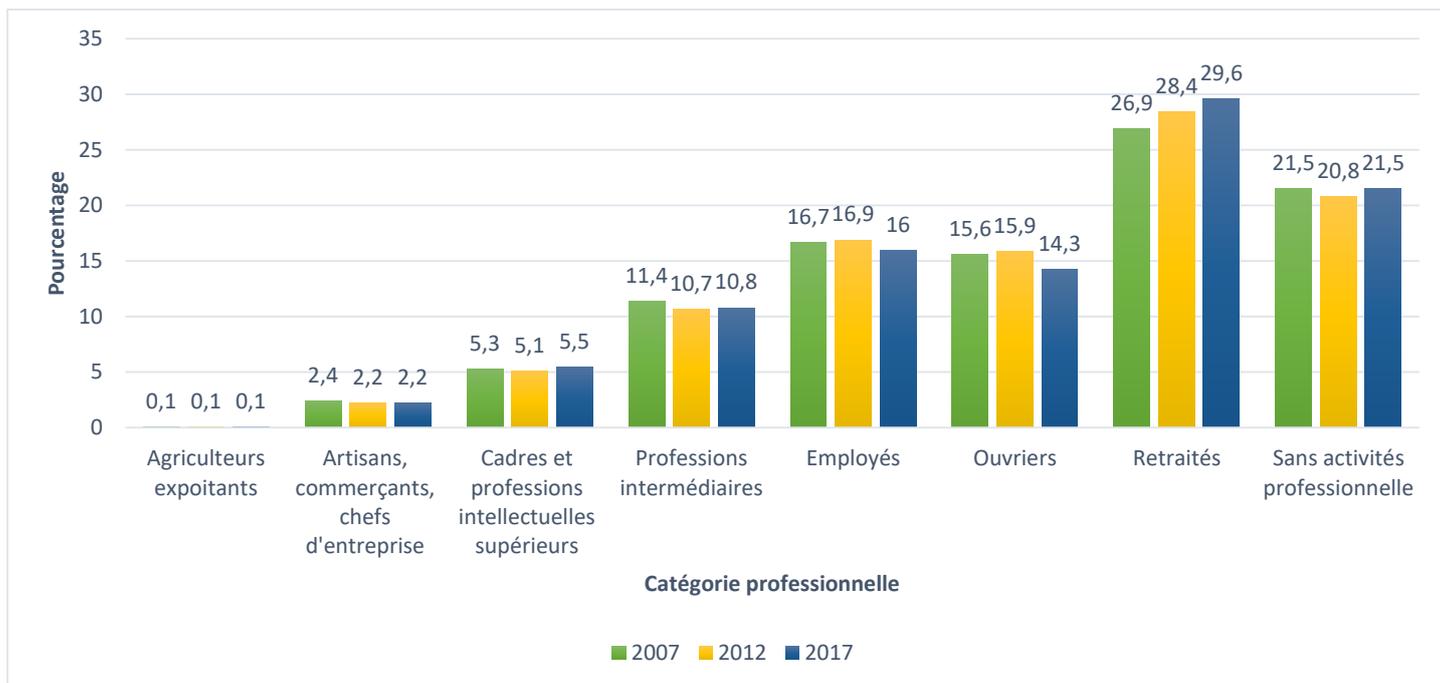


Figure 3-8 : Répartition de la population de 15 ans et plus selon la catégorie professionnelle entre 2007 et 2017

Nous nous sommes intéressés dans cette section aux secteurs d'activités, générateurs d'emploi à Saint-Quentin. La Figure 3-9 représente l'évolution entre 2007 et 2017 de la proportion des emplois en fonction des secteurs d'activité. À première vue, nous remarquons que les commerces, transports et services divers ainsi que les fonctions publiques sont les deux secteurs d'activités les plus présents dans la commune entre 2007 et 2017 et ce en évolution légère et continue sur toute la période. La fonction publique emploie plus que les entreprises privées. Par ailleurs, le secteur industriel connaît une régression d'environ 29% sur la période observée. De plus, le secteur de la construction ralentit à son tour en passant de 6,2% des emplois créés en 2007 à 4,6% des emplois créés en 2017. Enfin, le secteur agricole faible de par sa contribution à la création d'emploi et à sa présence dans l'économie communale, connaît une décélération dans la création d'emplois passant de 0,4% en 2007 à 0,2% à 2017 soit une chute de 50% en 10 ans.

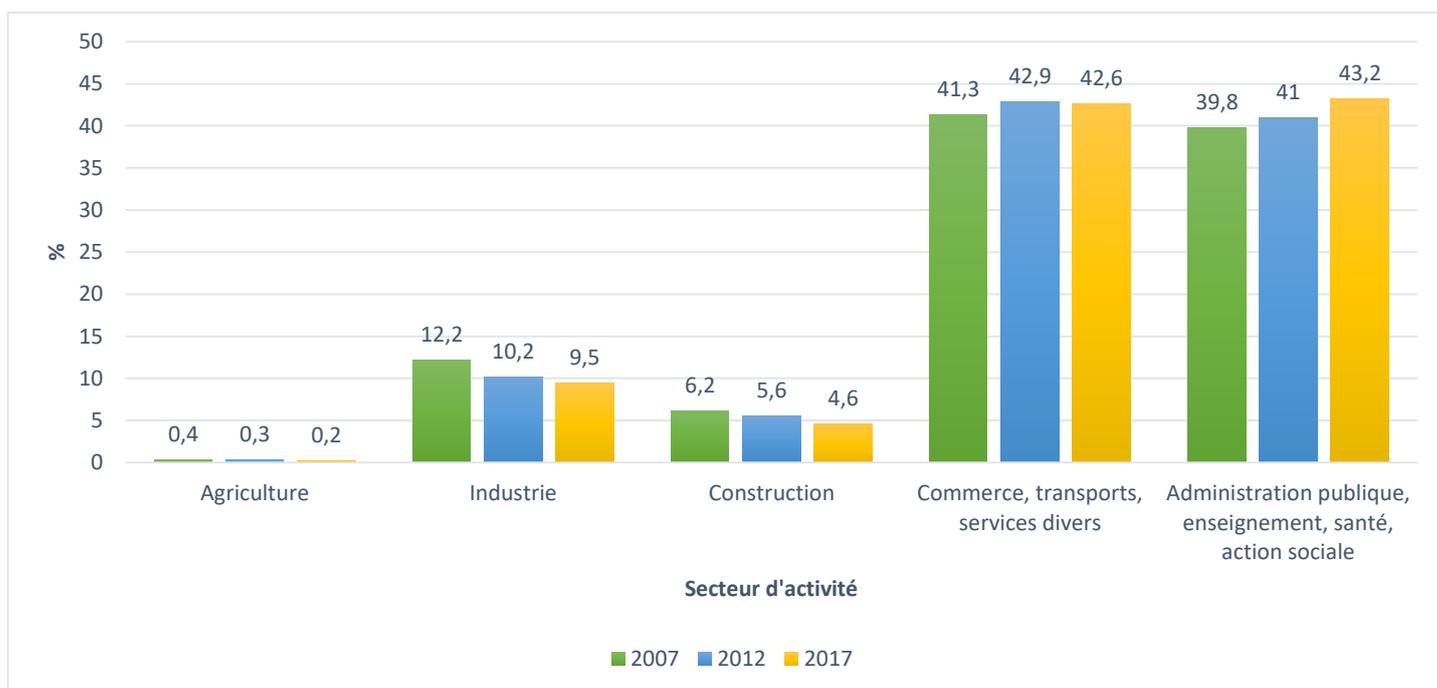


Figure 3-9 : Proportion des emplois en fonction du secteur d'activité

La ville de Saint-Quentin comptait au 31 décembre 2017, 2 969 entreprises. La Figure 3-10 représente la répartition de ces entreprises en fonction des secteurs d'activités.

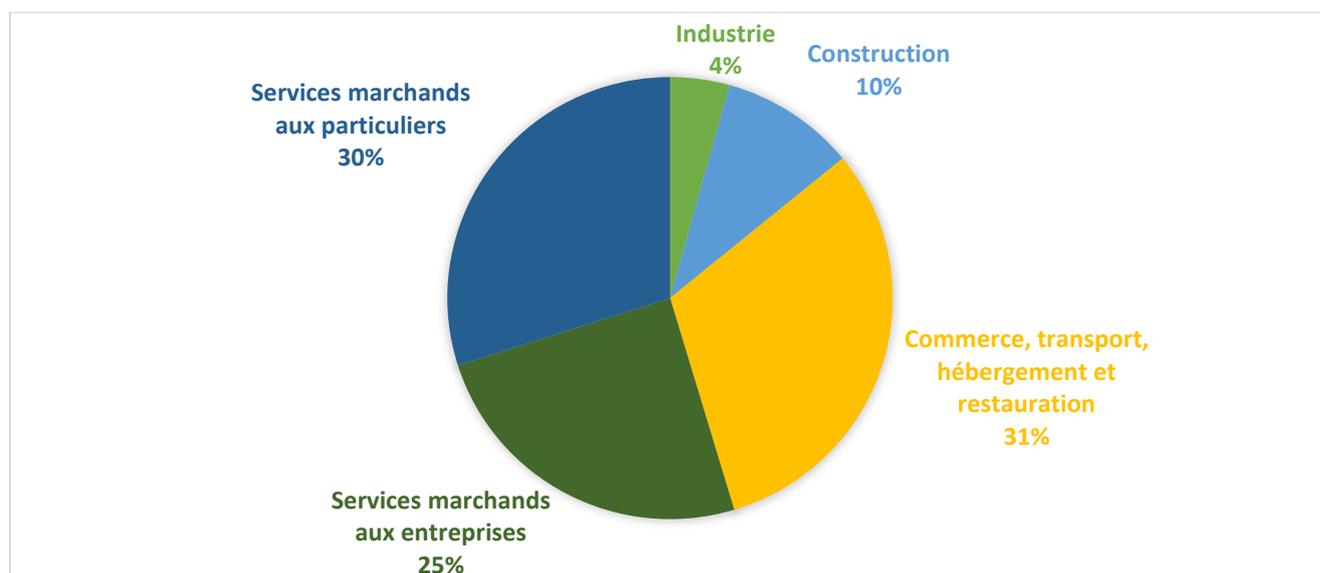


Figure 3-10 : Répartition des entreprises par secteur d'activité au 31-12-2017

On remarque que plus de la moitié (55 %) sont des entreprises de service marchands. Par ailleurs, les entreprises industrielles n'en représentent que 4%. Nous constatons également l'absence d'entreprise dans le secteur agricole.

Nous nous sommes également intéressés à la création des entreprises. La Figure 3-11 représente l'évolution des créations d'entreprises entre 2009 et 2018. Nous remarquons que sur cette période, le nombre de création d'entreprise a diminué. En effet, 416 entreprises ont été créées en 2009 tandis que 357 entreprises l'ont été en 2018 soit une baisse d'environ 17%. De plus, la tendance est similaire pour la création d'entreprises individuelles passant de 294 entreprises individuelles créées en 2009 à 245 entreprises individuelles créées en 2018.

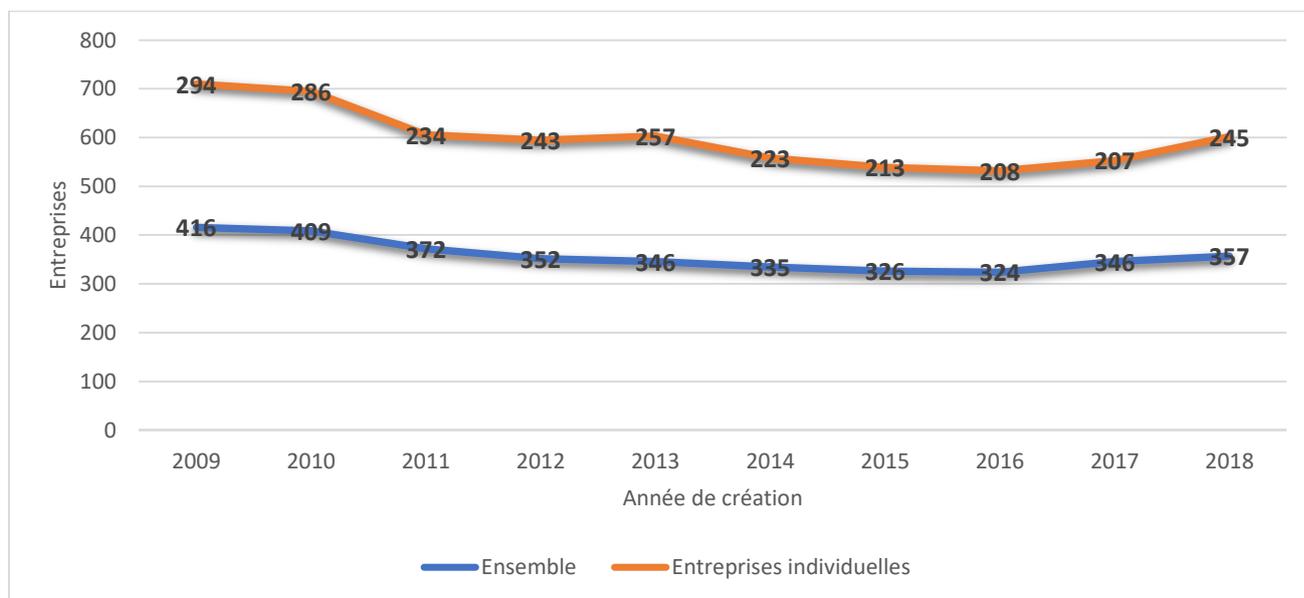


Figure 3-11 : Évolution des créations d'entreprises entre 2009 et 2018

3.2.4 Scolarisation

Nous avons modélisé à la Figure 3-12, le pourcentage de scolarisation à Saint-Quentin en 2017, selon l'âge et le sexe. A travers cet histogramme, nous pouvons constater que les taux de scolarisation à partir de l'école primaire dans la ville de Saint-Quentin sont relativement corrects (comparé à la moyenne nationale). Nous pouvons également déduire que seule la moitié des jeunes Saint-Quentinois poursuivent leurs études au-delà du baccalauréat. En effet, 41,6% de la population âgée de 18 à 24 ans poursuit ses études supérieures. Les taux de scolarisations sont globalement élevés et ne reflètent aucune disparité entre les garçons et les filles en termes d'éducation et de scolarisation.

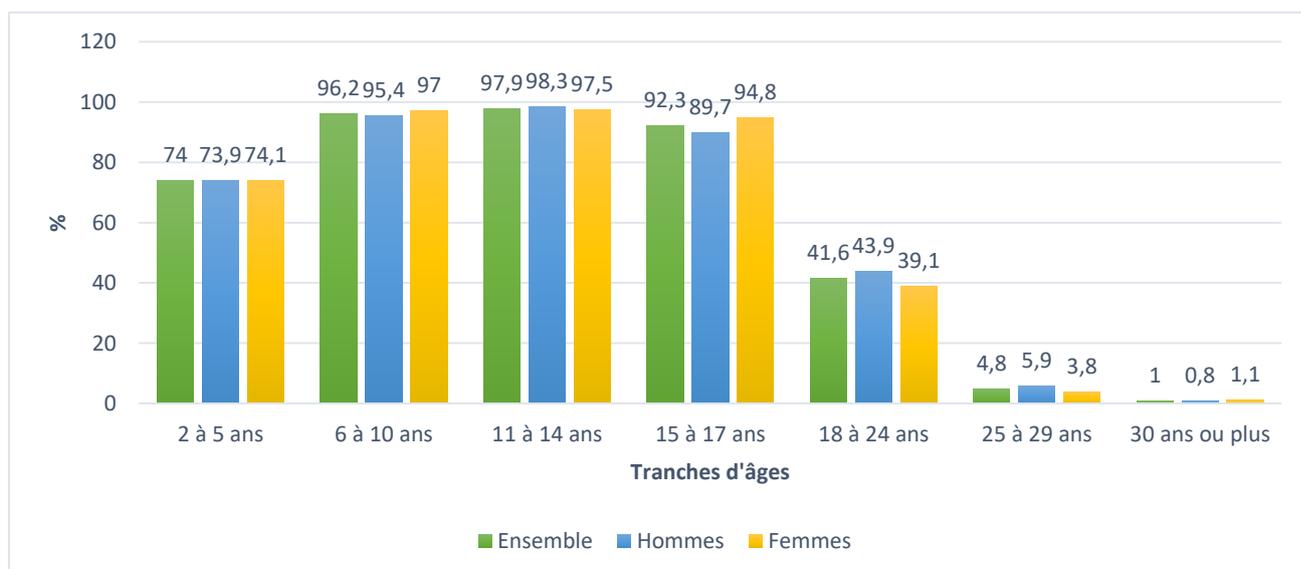


Figure 3-12 : Scolarisation selon l'âge et le sexe en 2017

Nous nous sommes également intéressés aux diplômes et certifications académiques. La Figure 3-13 représente l'évolution entre 2007 et 2017 de l'obtention des diplômes le plus élevé de la population non scolarisée de 15 ans ou plus (en %),

Durant la période observée, les résultats liés à l'obtention des diplômes par la population non scolarisée sont encourageants. Dans l'ensemble, sur ces dix années, la part d'élèves non diplômés a diminué de 6.5 %. En effet, seuls, 34.2 % de la population observée n'a pas obtenu de diplôme en 2017 contre 40,7% en 2007. De plus, les diplômes de l'enseignement supérieurs représentent 20% de l'ensemble des diplômes obtenus, avec une augmentation de 3.4 % en 10 ans.

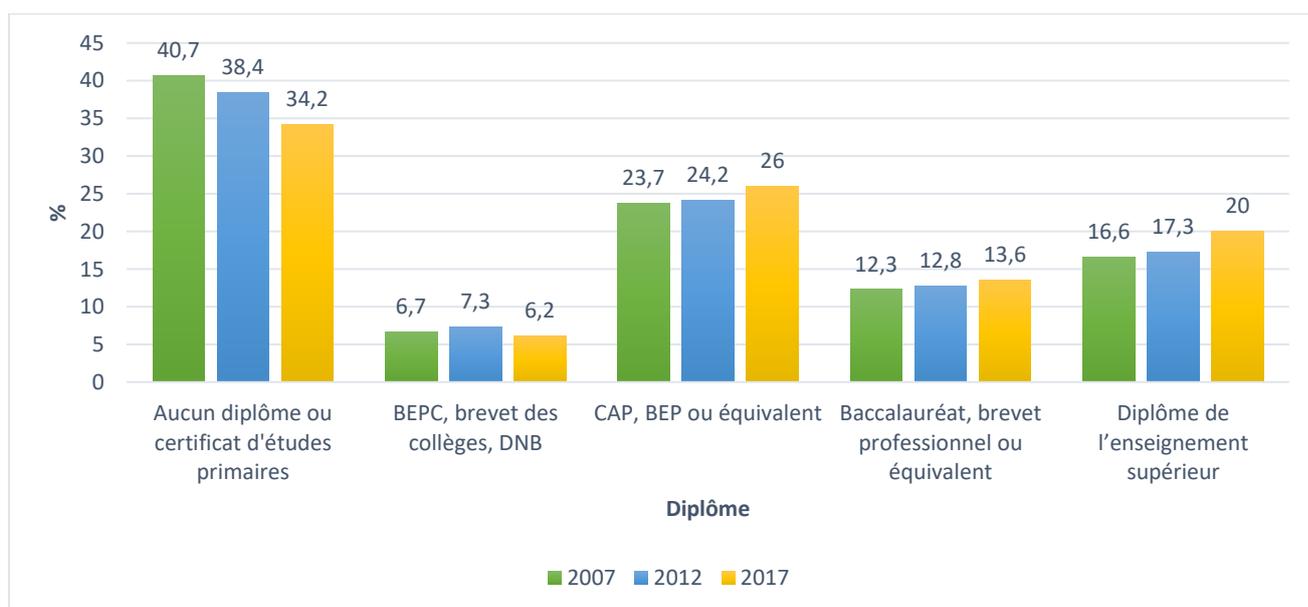


Figure 3-13 : Diplôme le plus élevé de la population non scolarisée de 15 ans ou plus (en %)

3.2.5 Environnement et infrastructures

3.2.5.1 Gestion des déchets

Depuis 2015, la Communauté d'Agglomération a engagé un Programme Local de Prévention des déchets ménagers et assimilés. Ce programme consiste à réduire la quantité et la nocivité des déchets, en agissant à la fois sur leur mode de production et de consommation. Cette même année, la ville de Saint-Quentin a généré près de 50 000 tonnes de déchets, soit 685 kg par habitant. Par rapport au budget investi, la collecte et le traitement d'une tonne de déchets revient à 183 €.

- 20 354 tonnes d'ordures ménagères sont collectées puis enfouies
- 20 194 tonnes sont collectées en déchèteries puis revalorisées
- 6 213 tonnes de déchets recyclables sont collectées puis recyclées

3.2.5.2 Gestion des espaces verts

La ville de Saint-Quentin dispose d'une direction dédiée à l'environnement et à la gestion des espaces verts composés de 85 personnes. Elle est notamment en charge de l'arrosage et du fleurissement de la ville (110 sites répertoriés). La direction est également responsable de l'arrosage et de l'entretien des terrains de sport (63 clubs), en plus de l'entretien de toutes les parcelles végétalisées et plantations de la ville. L'arrosage des différents sites sportifs de la ville consomme à lui seul 800 m³ d'eau. Certains sites sont équipés de systèmes d'arrosage automatiques. Le déclenchement de ces arroseurs se fait seulement sur critères visuels, et pas nécessairement par un besoin d'eau.

3.2.5.3 AEP : Adduction en eau Potable

La production ainsi que la distribution de l'eau potable sont des compétences de la Communauté d'Agglomération du Saint-Quentinois. La longueur totale des réseaux AEP est estimée à 292 Km de réseaux enterrés. En 2015, 4.5 millions de m³ d'eau ont été distribués, seuls 3.4 millions ont été consommés, soit une perte de 25 %. Cette même année, l'indice de connaissance et de gestion patrimoniale des réseaux était de 15 (cet indicateur évalue, sur une échelle de 0 à 120, à la fois, le niveau de connaissance du réseau et des branchements ainsi que l'existence d'une politique de renouvellement pluriannuelle du service d'eau potable).

3.2.5.4 Assainissement

Tout comme l'AEP, la collecte, le transport ainsi que le traitement des eaux usées sont des compétences de la Communauté d'Agglomération. La longueur des réseaux d'eaux usées et eaux pluviales est estimée à 530 km de réseaux enterrés, avec 101 stations de relèvement. L'usine de traitement des eaux usées est la propriété de la Communauté d'Agglomération. Elle est gérée par Véolia depuis 1991.

En 2015, le taux de desserte était de 98.8 % et le taux de bons raccordements (en 2015) était de 84 %. L'indicateur de connaissance de rejets au milieu naturel était de 20 en 2014, puis 50 en 2015 (cet indicateur permet de mesurer sur une échelle de 0 à 120, le niveau d'implication des services d'assainissement dans la connaissance et le suivi des rejets directs par temps sec et par temps de pluie).

3.3 Diagnostic de la ville

3.3.1 Contexte de l'étude

Conscients du rôle que peuvent jouer les NTIC, les dirigeants de la ville de Saint-Quentin ont décidé d'engager une démarche, Smart City, de transformation urbaine profonde. La collectivité avait déjà engagé des initiatives isolées, sans qu'elles ne soient initialement conduites dans une perspective Smart City.

Dans ce cadre, les responsables de la collectivité, ont établi un partenariat avec le laboratoire LGCgE, afin d'être accompagnés dans l'élaboration et la mise en œuvre de ce plan stratégique. Ce partenariat vise à identifier des projets d'expérimentation à partir d'un diagnostic initial, de définir un programme de déploiement. Enfin, il vise également à suivre le bon déploiement de ces projets et apporter les éventuels réajustements en fonction des retours du terrain.

La démarche Smart City à Saint-Quentin a eu pour but de mettre en place un processus de transformation visant à donner de la cohérence et à renforcer et impulser une démarche collectivement construite.

Dans ce sens, les dirigeants de la ville ont fixé et défini les lignes directrices ainsi que les principaux enjeux associés à cette démarche, à savoir :

- ❖ Faciliter la vie quotidienne des citoyens et améliorer la qualité des services rendus aux usagers
- ❖ Maximiser les retombées économiques sur le territoire : stimuler le tissu économique local

- ❖ Réduire les coûts de fonctionnement en optimisant la gestion du patrimoine bâti et des réseaux d'infrastructures

Tous les efforts et toutes les actions menées devaient être en parfaite adéquation et en concordance avec ces objectifs de départ posés.

L'étude concernait la ville de Saint-Quentin ainsi que sa communauté d'agglomération. La durée prévue pour réaliser le diagnostic était de 3 mois, lequel diagnostic s'est déroulé en deux phases. D'abord une phase préparatoire, puis une phase d'audit et d'analyse.

3.3.2 Gouvernance de l'étude

Les acteurs intervenants dans le cadre de l'étude sont les suivants :

- Des experts du laboratoire LGCgE
- La Direction des Systèmes d'Informations (DSI)
- La Direction des Grands Projets et de l'Innovation (DGPI)
- Un adjoint au maire (désigné comme référent)

3.3.3 La phase préparatoire

La première phase dite préparatoire a eu pour objectif de lancer l'étude et de bien préparer en amont la phase d'audit et d'analyses pour qu'elle se déroule au mieux.

En premier lieu, il a fallu que nous déterminions les différents participants lors des réunions et rencontres que nous allions réaliser. Le travail de sélection des participants s'est fait en concertation avec notre référent et un représentant du maire. Nous avons établi un listing précis des différents services et directions de la ville et de la communauté d'agglomération qui participeront aux échanges. A cet effet, nous portons l'étude à tous les niveaux pour cibler tous les aspects de la ville afin de créer un terreau fertile de mutualisation et de partage (données, ressources et moyens). Nous avons ainsi identifié 18 participants et avons fixé un calendrier de rencontre pour ces participants. En plus de ces 18 réunions, nous avons également promu la démocratie participative. Dans ce sens, nous avons inclus les conseils de quartiers (7 quartiers différents) ainsi que le conseil des seniors, le conseil des jeunes et les associations. Le Tableau 3-1 reprend la liste des participants aux entretiens.

Tableau 3-1 : Liste des participants

No.	Participants
1	Développement économique
2	Direction des Bâtiments communautaires
3	Agence de l'Eau et de l'Assainissement
4	Environnement et Espaces Verts
5	Office de Tourisme
6	Direction de l'Animation, des Sports et de la Vie Associative
7	Direction de la Sécurité et de la Protection de la Population
8	Direction des Affaires Culturelles
9	Communication et Promotion
10	Direction du Patrimoine
11	Direction de la Proximité
12	Direction des Systèmes d'Information et des Télécommunications
13	Conseil des seniors
14	Conseil des jeunes
15	7 Conseils de quartier

Une fois tous les acteurs et participants identifiés, nous avons établi un questionnaire que nous leur avons envoyé. Nous voulions savoir de plus près :

- Quelles étaient leurs activités,
- Qui sont leurs partenaires (internes et externes),
- Quelles informations et données dont disposent-ils avaient ? Quelles données et informations dont avaient-ils besoin ? Quelles informations aimeraient-ils avoir ?
- Quels étaient leurs Attentes ?
- Les projets en cours de développement, les projets prévus et les projets souhaités
- Leurs voies d'amélioration et de développement

L'existence du référent facilite le lien entre les participants et nous-mêmes. Grâce à son implication, nous avons pu transmettre les questionnaires et récupérer plusieurs réponses avant la date des entretiens.

Parallèlement à cela, nous nous sommes documentés. La documentation disponible sur internet concernant les villes françaises est riche. Nous avons consulté les rapports de la Cour des Comptes, de l'INSEE, les rapports d'activité des services de l'état, les rapports sur la situation sanitaire, économique, sécuritaire, sociale et environnementale en plus d'articles de

presse. Tout ceci en plus de notre maîtrise et expertise en matière de technologies intelligentes et innovantes.

Toutes les données et informations que nous avons collectées, en plus de celles fournies par le biais des questionnaires préalables, nous ont permis d'avoir une idée assez claire du fonctionnement de chaque département ou service. Certaines pistes d'amélioration évidentes commençaient à émerger. Tout cela nous avait permis de dresser un second questionnaire, support lors de nos échanges et entretiens avec les différents acteurs, sous forme de guide d'entretien.

3.3.4 La phase d'échange et d'entretien

Une fois la liste de tous les intervenants établie, nous avons défini un calendrier pour les rencontres. Une bonne gestion préalable et un calendrier approprié ont permis de mener à bien les entretiens. Nous avons choisi de commencer par les services et directions de la ville, et avons gardé la part de démocratie participative pour la fin. Ce choix volontaire, nous permettait de cerner toutes les problématiques et attentes des différents dirigeants, pour ensuite évaluer et estimer la sensibilité de la population à certaines thématiques.

La phase préparatoire et la présence du référent ont conféré à l'étude un cadre favorable et propice aux échanges. Les entretiens avaient lieu dans les locaux de la mairie de Saint-Quentin, pour une durée de 2 heures, à raison de 2 entretiens par jours, 2 jours par semaines. Nous étions assez informés et sensibles aux attentes de chacun des participants avant même de les rencontrer. Les entretiens étaient riches en échanges, les responsables des différents services et directions de la ville étaient coopératifs. L'interaction nous a permis d'éclaircir certaines incompréhensions et de lever certains doutes. Cette étape nous a également été l'occasion de demander des données et informations supplémentaires pour améliorer notre compréhension par rapport à certains sujets.

Les entretiens tournaient autour de 3 axes principaux. Tout d'abord, nous cherchions à étudier les liens existant entre les différents acteurs de la ville. Nous cherchions à identifier les zones d'interdépendance, étape cruciale pour maximiser l'effet de la mutualisation. Ensuite, nous nous sommes intéressés aux critères clés de sélection de projets, et l'importance qu'accorde chacun des intervenants à ces différents critères (nous avons préparé en amont une série de critères de sélection qui allait nous servir lors de la phase d'analyse et de sélection des projets). La Figure 3-14 résume les axes majeurs des entretiens.

Par ailleurs, nous voulions savoir de plus près quelles étaient les ressources dont dispose la ville. Que ce soient en termes de moyens financiers, techniques et surtout humains. Il est crucial d'avoir une connaissance approfondie du niveau de qualification et de maîtrise de certaines technologies des différents employés. Cet aspect est crucial, car il est nécessaire de proposer des projets qui soient en adéquation avec les ressources dont dispose la ville.

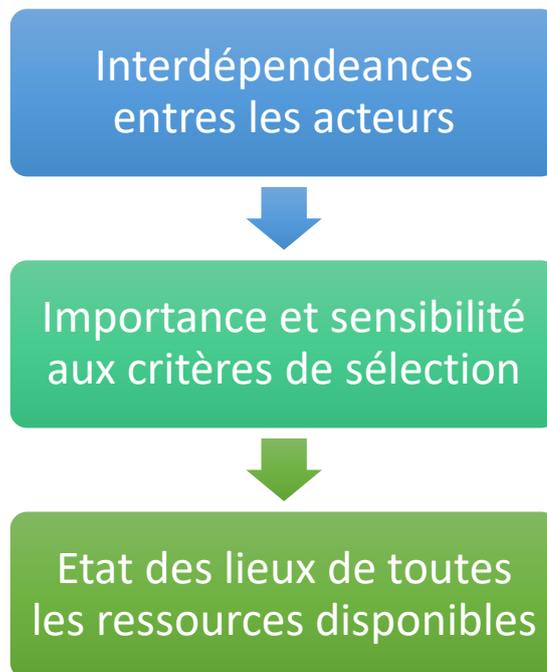


Figure 3-14 : Axes majeurs des entretiens

Le principal défi auquel nous avons été confrontés lors des réunions, plus particulièrement lors des réunions de quartier et des différents conseils, était d'éclaircir le concept de Smart City. Il a fallu rassurer et corriger la perception des habitants. Trop souvent, la terminologie de Smart City était associée à une utilisation excessive de technologie et totalement dénuée de sens humain, source de crainte et de méfiance. Cette idée reçue était largement partagée, notamment par les personnes les plus âgées.

Pour leur part, certains responsables de services et directions exprimaient certaines réserves et de la méfiance, par crainte de voir leur mode de gestion et de fonctionnement habituel, totalement modifié ou chamboulé par une telle démarche (« refus de l'intrus » et/ou « volonté de préserver sa zone de confort »). Là encore, nous avons rappelé que la solution serait co-construite et que chacun finirait par y trouver son compte.

3.3.5 La phase d'analyse

Dès le départ, nous avons remarqué une absence notoire de mutualisation et de partage entre les différents acteurs. Dans plusieurs cas, chacune des différentes parties faisaient leur travail de leur côté, sans partage ni même mise en commun de savoir-faire.

Après analyse, croisement et recoupement de toutes les données recueillies, nous avons pu dresser la matrice d'interdépendance entre les différents acteurs. La certitude liée à ce résultat ainsi que la capacité de quantifier le degré des liens entre les différents acteurs, nous permettra d'identifier les potentialités de mise en commun, en vue d'une mutualisation future. Nous avons noté les liens sur une échelle de 1 à 5 (1 : Très Faible, 2 : Faible, 3 : Moyen, 4 : Fort et 5 : Très Fort). La Figure 3-15 représente la matrice des interdépendances entre les différents acteurs de la ville. La direction de la sécurité et de la protection de la population est celle qui est au centre de toutes, elle enregistre le score le plus élevé (56/60), suivi par la direction en charge des bâtiments communautaires (48/60). En revanche, la direction du développement économique et l'agence de l'eau et l'assainissement sont les moins en contact avec le reste des acteurs, bien qu'avec un score assez correct (37/60). De plus, nous remarquons que les habitants sont eux aussi en lien étroit avec les autres services et directions de la ville. Cela conforte l'idée que nous défendons d'une Smart City humaine et orientée-citoyen.

D'une manière globale, nous pouvons dire que les liens entre les différents acteurs de la ville sont forts. Ces résultats sont encourageants, et fournissent un cadre fertile à des projets transversaux, susceptibles de concerner et d'intéresser plus d'un acteur.

	Développement économique	Bâtiments communautaires	Eau et Assainissement	Environnement et Espaces Verts	Office de Tourisme	Direction de l'Animation, des Sports et de la Vie Associative	Direction de la sécurité et de la Protection de la Population	Direction des Affaires Culturelles	Communication et Promotion	Direction du patrimoine	Direction de la Proximité	Direction des Systèmes d'Information et des Télécom.	Population	
Développement économique		3	3	3	4	2	4	3	4	4	2	3	2	37
Bâtiments communautaires	3		4	3	4	5	5	5	3	3	4	5	4	48
Eau et Assainissement	3	4		4	3	4	5	2	2	3	2	3	3	38
Environnement et Espaces Verts	3	3	4		4	4	5	2	3	3	4	3	4	42
Office de Tourisme	4	4	3	4		3	5	5	4	5	3	4	3	47
Direction de l'Animation, des Sports et de la Vie Associative	2	5	4	4	3		5	3	3	2	3	4	5	43
Direction de la sécurité et de la Protection de la Population	4	5	5	5	5	5		4	4	4	5	5	5	56
Direction des Affaires Culturelles	3	5	2	2	5	3	4		5	5	4	4	5	47
Communication et Promotion	4	3	2	3	4	3	4	5		5	4	4	5	46
Direction du patrimoine	4	3	3	3	5	2	4	5	5		3	4	3	44
Direction de la Proximité	2	4	2	4	3	3	5	4	4	3		3	5	42
Direction des Systèmes d'Information et des Télécom.	3	5	3	3	4	4	5	4	4	4	3		2	44
Population	2	4	3	4	3	5	5	5	5	3	5	2		46

Figure 3-15 : Matrice des interdépendances

Lors des différents entretiens, nous avons présenté les différents indicateurs de sélection des projets. Nous voulions déterminer la sensibilité de chacun des interlocuteurs. Nous les avons interrogés sur le degré d'importance qu'ils octroyaient à chaque indicateur (5 : Très important, 4 : Important, 3 : Moyennement important, 2 : Peu important et 1 : Pas du tout important.). Cela nous renseigne d'une part sur les sensibilités de chacune des parties, à nous d'en tenir compte. D'autre part, cela nous servira lors de la phase de sélection des projets, spécialement pour déterminer le poids de chacun des indicateurs.

Cela étant, les résultats à ce stade permettent de dégager l'esprit global et les attentes d'une telle démarche. La Figure 3-16 représente les résultats obtenus.

	Investissement (SI)	Les Retombées Sociales (SRS)	Les Retombées Economiques (SRE)	Les Retombées Environnementales (SRV)	Les Délais de réalisation (SD)	Les Barrières d'implémentation (RIB)	Le degré d'interopérabilité (I)	La Disponibilité des Compétences Humaines (HC)	L'Acceptaion Sociale (SV)
Développement économique	5	4	5	4	4	3	3	3	3
Bâtiments communautaires	5	3	5	5	4	3	3	3	3
Eau et Assainissement	5	4	4	5	3	3	2	3	2
Environnement et Espaces Verts	4	4	3	5	4	3	3	3	4
Office de Tourisme	4	4	5	4	4	3	3	3	3
Direction de l'Animation, des Sports et de la Vie Associative	4	5	3	4	4	3	3	3	4
Direction de la sécurité et de la Protection de la Population	3	5	4	3	3	4	3	2	5
Direction des Affaires Culturelles	4	5	3	4	4	3	3	3	5
Communication et Promotion	4	5	3	4	3	3	4	3	4
Direction du patrimoine	4	4	5	4	4	3	3	3	3
Direction de la Proximité	4	5	4	4	4	3	3	3	4
Direction des Systèmes d'Information et des Télécommunications	4	3	4	3	5	4	3	4	3
Population	3	5	5	5	4	3	3	2	5
	53	56	53	54	50	41	39	38	48

Figure 3-16 : Sensibilité des experts aux critères de sélection des projets

Nous remarquons que les experts accordent le plus d'importance aux retombées sociales, puis environnementales puis économiques des projets, avec un score moyen de (54/65). Le niveau d'investissement est lui aussi important et arrive en troisième position, avec un score de (53/65). En revanche, les critères « degré d'interopérabilité » et « disponibilité des compétences humaines » ont enregistré les scores les moins élevés, avec des scores respectifs de 39/65 et 38/65. Ces résultats traduisent un réel attachement à l'amélioration des conditions de vie des habitants. Ce constat est par ailleurs partagé par les responsables et citoyens de la

ville. La disponibilité des ressources financières est un facteur qui est pris en compte par tous. De ces résultats, nous pouvons également déceler certaines pistes d'amélioration. En effet, les différents acteurs n'accordent pas l'intérêt qu'il se doit à la mutualisation des moyens (matériels et savoirs), et le manque à gagner qui en résulte.

3.4 Feuille de route Smart City

3.4.1 Proposition des projets pilotes

A l'issue des entretiens et des échanges, nous avons pu dégager les axes prioritaires de développement propres à la ville de Saint Quentin. Nous les avons regroupés sous forme de projets pilotes en 2 ensembles. Ce regroupement a pour but de créer des synergies et de la cohésion.

1. Smart Communauté et services
2. Smart Infrastructures and building

No. Projets pilotes

- 1.1. Plateforme - Outil d'information et de dématérialisation de tous les services urbains
 - 1.2. Plateforme - Outil d'interaction avec et entre les citoyens
 - 1.3. Programme d'entraide intergénérationnelle - Solidarité, Éducation et Fracture Numérique
 - 1.4. Démocratie participative: Outil de consultation / concertation et de participation citoyenne
-
- 2.1. Eau potable: Télé-relève des consommations
 - 2.2. Assainissement: Instrumentation du réseau d'eaux pluviales pour réduire les risques de débordements
 - 2.3. Éclairage public: Modulation de l'éclairage par points
 - 2.4. Espaces verts: Arrosage intelligent
 - 2.5. Bâtiments municipaux: Smart Transformation: Instrumentation & Smart Services
-

3.4.1.1 Smart Communauté et services

Cet ensemble regroupe les services à destination des citoyens. Nous avons remarqué l'existence d'une forte tradition des actions de proximité à destination de la population, de démocratie participative et d'animation. Le dispositif « Allo Mairie et Agglo j'écoute » sont particulièrement appréciés (dispositifs permettant de faire part d'anomalies ou de dysfonctionnements). Les préoccupations soulevées lors des réunions avec les conseillers de quartier ont porté sur l'aspect sécuritaire, la propreté des espaces urbains et la solidarité intergénérationnelle.

Cet ensemble regroupe également les services publics à destinations des citoyens (services administratifs, le transport, la culture, les activités sportives, la restauration dans les cantines, la collecte des déchets ainsi que la propreté). Ces services pourraient être améliorés à travers la création d'une identité numérique du citoyen.

Dans ce sens, les propositions dans ce domaine comportent :

- Renforcement et généralisation du dispositif « Allo Mairie » à travers la mise en place d'une plateforme d'information et d'interaction avec les citoyens.
- Création de services à destination des personnes âgées. Des services à domicile existent déjà, il faudrait les rendre plus visibles, en plus de la mise à disposition de lieux et des programmes de rencontre intergénérationnelle,
- Mise en place d'outils pour des trajets sécurisés, recommandés ou plus adaptés aux personnes âgées et aux PMR,
- Informer sur la disponibilité, les changements, les interruptions, les horaires et l'accès aux services,
- Effectuer des démarches administratives, des réservations et des paiements en ligne (que ce soit pour la cantine, les activités culturelles, sportives ou autres).

3.4.1.2 Smart Infrastructure and Building

Cet ensemble concerne les infrastructures urbaines, telles que les réseaux d'eau potable, d'assainissement, d'éclairage public ainsi que les voiries et chaussées. En plus des espaces verts, les parcs urbains et les espaces sportifs. La qualité des services urbains dépend en grande partie de ces infrastructures. D'autant plus qu'une part assez conséquente des budgets des collectivités est consacrée à l'investissement, le fonctionnement et la maintenance de ces infrastructures.

La technologie disponible permet aujourd'hui de moderniser ces infrastructures à l'aide de systèmes d'instrumentation, d'analyse et de visualisation des données en temps réel. En

recoupant les projets déjà initiés, les discussions avec les responsables de ces services, les préoccupations des citoyens, les aspirations de la ville en terme de développement durable et de préservation de l'environnement et des ressources. Nous avons identifiés les projets prioritaires suivants :

- Eau potable : système de télé relève pour suivre la consommation en eau, détecter les fuites en temps réel et informer les usagers. Ce dispositif existe déjà sur certains sites
- Assainissement : Système d'instrumentation pour une gestion optimale et une réduction du risque de débordements, en plus des techniques alternatives d'assainissement
- Éclairage public : Généralisation du système LED avec un contrôle d'intensité par point (déjà disponible sur certains lieux)
- Espaces verts : Système d'arrosage intelligent, contrôle d'accès

Cette section inclut également l'ensemble des bâtiments gérés par la collectivité (bâtiments municipaux, historiques et les logements sociaux).

La priorité est d'équiper ces bâtiments par des systèmes de suivi des consommations, avec des logiciels permettant de détecter en temps réel les anomalies de consommations. Le suivi des paramètres de confort intérieur constitue également un élément essentiel qui concerne à la fois la santé et le confort dans les espaces intérieurs (indoor). De plus, il est vital de disposer d'outils visant à informer et sensibiliser les usagers.

Projets pilotes spécifiques aux bâtiments municipaux:

- Bâtiments Municipaux : Suivi des paramètres de consommations, de confort et de sécurité
- Bâtiments sportifs : Système d'identification des usagers, contrôle des accès, agenda d'occupation.
- Bâtiments Historiques : Outils de mise en valeur (réalité virtuelle et augmentée)
- Logements Sociaux : Télé relève des consommations, sensibilisation des usagers.

La figure 3-17 reprend la liste des projets pilotes retenus.

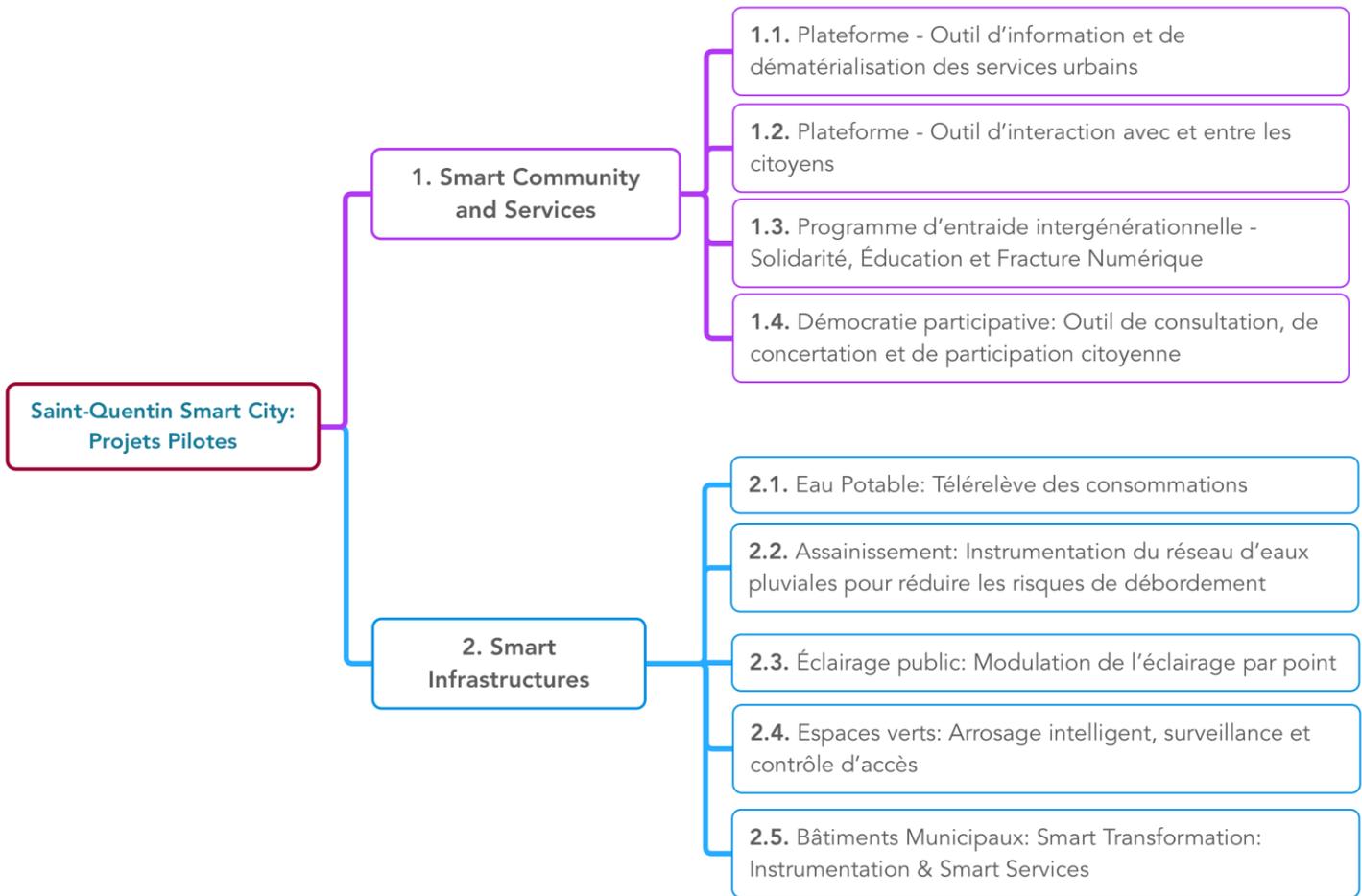


Figure 3-17 : Projets pilotes retenus

3.4.1.3 Interopérabilité Projet / acteurs :

Dans une première étape, nous avons d'abord étudié la relation entre les différents acteurs et les projets pilotes proposés. À ce titre, nous avons évalué deux paramètres. Pour chaque projet proposé, nous voulions savoir quels étaient les acteurs concernés. De même, pour chacun des acteurs, nous voulions savoir s'il était concerné par un projet, et à quel degré. Le tableau 3-2 présente les résultats obtenus. (1 : Présence de lien, 0 : Absence de lien).

Tableau 3-2 : Interopérabilité Projet / Acteurs

	Smart Communauté & Services				Smart Infrastructures & Building					
	1.1	1.2	1.3	1.4	2.1	2.2	2.3	2.4	2.5	
Développement économique	1	1	0	1	1	0	1	1	1	77,8
Bâtiments communautaires	1	1	1	0	1	1	1	1	1	88,9
Agence de l'Eau et de l'Assainissement	1	1	0	0	1	1	0	1	1	66,7
Environnement et Espaces Verts	1	0	0	0	1	1	1	1	1	66,7
Office de Tourisme	1	1	0	0	0	0	1	0	1	44,4
Direction de l'Animation, des Sports et de la Vie Associative	1	1	1	1	1	0	1	1	1	88,9
Direction de la Sécurité et de la Protection de la Population	1	1	1	1	1	1	1	0	1	88,9
Direction des Affaires Culturelles	1	1	1	1	0	0	0	0	1	55,6
Communication et Promotion	1	1	1	1	0	0	1	0	1	66,7
Direction du Patrimoine	1	1	0	0	1	0	0	0	1	44,4
Direction de la Proximité	1	1	1	1	0	0	1	0	1	66,7
Direction des Systèmes d'Information et des Télécommunications	1	1	1	1	0	0	0	0	1	55,6
Population	1	1	1	1	1	1	1	0	1	88,9
	100,0	92,3	61,5	61,5	61,5	38,5	69,2	38,5	100,0	

Nous remarquons que les projets pilotes proposés s'intègrent bien dans le fonctionnement habituel de la collectivité. En effet, les scores obtenus par la plus part des projets sont excellents. Deux d'entre eux ont un score de 100 %, cela veut dire que tous les acteurs de la ville sont concernés par ces projets et y trouvent un intérêt. Il s'agit du projet 1.1, outil d'information et de dématérialisation de tous les services urbains et du projet 2.5, qui vise la transformation intelligente des bâtiments municipaux. Ces résultats s'expliquent par la nature même des projets. Les bâtiments étant les lieux de travail, de rencontre et d'épanouissement de tous les usagers. De même, la simplification et la dématérialisation des services urbains simplifieraient la vie aux citoyens et aux gestionnaires.

Cela étant, deux projets enregistrent des scores plus faibles que les autres. Il s'agit du projet pilote 2.2 en lien avec l'assainissement ainsi que le projet 2.4, en lien avec l'arrosage intelligent et la gestion des espaces verts. Nous pouvons expliquer cela par le caractère plus spécifique des deux projets. Cela ne diminue en rien leur intérêt et leur pertinence, surtout en matière de réductions des couts de fonctionnement et de prévention des risques.

Pour ce qui est de l'implication et de l'intérêt des différents acteurs, nous remarquons que les citoyens ainsi que les services et directions qui sont en lien direct avec les citoyens sont plus concernés par les projets proposés. Cela vérifie une fois de plus le soin apporté à l'humain par cette démarche Smart City. En règle générale, les scores sont assez élevés pour l'ensemble des acteurs. Seuls l'office de tourisme et la direction du patrimoine enregistrent des scores moyens (44,4 %).

3.4.1.4 Interopérabilité entre les projets pilotes

Nous avons également étudié la part d'interopérabilité qui existe entre les projets pilotes eux-mêmes. Le tableau 3-3 présente ces résultats.

Tableau 3-3: Interopérabilité entre les projets proposés

	Projets pilotes	Smart Communauté & Services				Smart Infrastructures & Building				
		1.1	1.2	1.3	1.4	2.1	2.2	2.3	2.4	2.5
Smart Communauté & Services	1.1		X	X	X	X	X	X	X	X
	1.2	X		X	X	X	X	0	X	X
	1.3	X	X		X	X	0	0	0	X
	1.4	X	X	X		0	0	X	0	X
Smart Infrastructures & Building	2.1	X	X	X	0		X	0	X	X
	2.2	X	X	0	0	X		0	X	X
	2.3	X	0	0	X	0	0		X	X
	2.4	X	X	0	0	X	X	X		X
	2.5	X	X	X	X	X	X	X	X	
Degré d'interopérabilité (%)		100	87,5	62,5	62,5	75	62,5	50	75	100

Nous constatons que dans l'ensemble, les taux d'interopérabilité sont élevés. Nous vérifions bien que les projets à caractère sociaux sont parfaitement interopérables. Ce n'est pas toujours le cas lorsqu'il s'agit des services techniques et des projets à caractère infrastructurel. En effet, comme nous pouvons le voir dans le tableau 3-4, les projets pilotes de la section Smart Communauté et services sont interopérables entre eux à 100 %. Ce sont des projets utiles, pertinents et complémentaires entre eux.

Tableau 3-4: Interopérabilité des projets sociaux entre eux

	Projets pilotes	Smart Communauté & Services			
		1.1	1.2	1.3	1.4
Smart Communauté & Services	1.1		X	X	X
	1.2	X		X	X
	1.3	X	X		X
	1.4	X	X	X	
Degré d'interopérabilité		100	100	100	100

3.4.2 Sélection des projets pilotes

3.4.2.1 Poids des critères

Nous avons établi une série de 9 critères (Tableau 3-5) pour la sélection des projets proposés (indicateurs détaillés dans la section 2.4.2.1). Cette sélection permet d'établir un ordre d'importance des projets. Pour ce faire, il est important de déterminer le poids de chacun de ces critères. Les techniques multi-attributs (MADM) sont des outils puissants pour classer ou sélectionner une ou plusieurs alternatives parmi un ensemble d'attributs disponibles en fonction d'attributs multiples (Keršulienė et al., 2010; Llamazares, 2019). « MADM comme sous ensemble de MCDM (Techniques Multicritères) sont appropriés pour résoudre les problèmes de décision de gestion. » (Hashemkhani Zolfani et al., 2018). Le recours aux techniques MADM augmente la fiabilité de la prise de décision, car il facilite les processus de décision (Feng & Lai, 2014).

Tableau 3-5 : Indicateurs pour la sélection des projets

No.	Indicateurs
1	L'investissement (SI)
2	Les Retombées Sociales (SRS)
3	Les Retombées Économiques (SRE)
4	Les Retombées Environnementales (SRV)
5	Les Délais de réalisation (SD)
6	Les Barrières d'Implémentation (RIB)
7	Le degré d'Interopérabilité (I)
8	La Disponibilité des Compétences Humaines (HC)
9	L'Acceptation Sociale (SV)

Une fois notre liste de critères établie, nous avons choisi d'appliquer la méthode SWARA afin de déterminer le poids de chacun des 9 critères.

Nous avons interrogé les experts sur le degré d'importance de chaque indicateur : 5 : Très important, 4 : Important, 3 : Moyennement important, 2 : Peu important et 1 : Pas du tout important. Ce résultat est détaillé dans la section 3.3.5, à la figure 3-16. Le tableau 3-6 présente et classe les indicateurs de sélection par ordres d'importance.

Tableau 3-6 : Classement des projets suite aux retours des experts

		Score
X ₁	Les Retombées Sociales (SRS)	56
X ₂	Les Retombées Environnementales (SRV)	54
X ₃	Les Retombées Économiques (SRE)	53
X ₄	L'investissement (SI)	53
X ₅	Les Délais de réalisation (SD)	50
X ₆	L'Acceptation Sociale (SV)	48
X ₇	Les Barrières d'Implémentation (RIB)	41
X ₈	Le degré d'Interopérabilité (I)	39
X ₉	La Disponibilité des Compétences Humaines (HC)	38

Les résultats des calculs par la méthode SWARA sont présentés dans le tableau 3-7. Le poids des différents indicateurs est calculé à la dernière colonne. L'indicateur SRS pour les retombées sociales ayant obtenu le score le plus élevé avec un poids $Q_1 = 0,120$, tandis que l'indicateur HC, pour la disponibilité des compétences humaines a un poids $Q_9 = 0,101$.

Tableau 3-7 : Calcul du poids des indicateurs de sélection

Indicators	Comparative importance of average value S_j	Coefficient K_j $K_j = S_{j+1}$	Recalculated weight $W_j = \frac{x_{j-1}}{K_j}$	Weight $q_j = \frac{w_j}{\sum w_j}$
X_1		1	1	0,120
	0,02			
X_2		1,02	0,98	0,118
	0,01			
X_3		1,01	0,97	0,116
	0			
X_4		1	0,97	0,116
	0,03			
X_5		1,03	0,94	0,113
	0,02			
X_6		1,02	0,92	0,111
	0,07			
X_7		1,07	0,86	0,104
	0,02			
X_8		1,02	0,85	0,102
	0,01			
X_9		1,01	0,84	0,101

3.4.2.2 Classement des projets selon les experts

Sur la base du diagnostic réalisé, et une fois les projets pilotes identifiés, nous les avons soumis à l'avis des experts. Nous voulions savoir quel intérêt portait chacun d'entre eux aux différents projets proposés et surtout à quel degré. Il ne s'agit plus de savoir si les acteurs sont concernés ou non, mais bien de quantifier le degré d'implication et d'importance.

Nous avons interrogé les différents experts sur l'intérêt qu'ils accordaient à chacun des projets. Une fois, encore, nous avons noté cela sur une échelle de 1 à 5. Les résultats sont présentés dans le tableau 3-8.

Tableau 3-8 : Notation des projets par les experts

		Développement économique	Bâtiments communautaires	Agence de l'eau	Environnement et Espaces verts	Office de Tourisme	Direction de l'Animation, des Sports et de la Vie Associative	Direction de la Sécurité	Direction des Affaires Culturelles	Communication et promotion	Direction du patrimoine	Direction de la proximité	DSI	Population	Score Final
1.1	Plateforme - Outil d'information et de dématérialisation de tous les services urbains	4	4	4	5	5	5	5	5	5	4	5	5	5	61
1.2	Plateforme - Outil d'interaction avec et entre les citoyens	4	4	4	5	4	4	5	5	5	4	5	4	5	58
1.3	Programme d'entraide intergénérationnelle - Solidarité, Éducation et Fracture Numérique	2	3	2	3	3	3	5	5	5	4	5	4	5	49
1.4	Démocratie participative: Outil de consultation / concertation et de participation citoyenne	3	3	3	4	3	4	4	4	5	3	5	3	5	49
2.1	Eau potable: Télé-relève des consommations	4	4	5	5	1	3	3	1	2	3	3	3	4	41
2.2	Assainissement: Instrumentation du réseau d'eaux pluviales pour réduire les risques de débordements	2	3	4	5	3	2	3	1	2	2	2	2	4	35
2.3	Éclairage public: Modulation de l'éclairage par point	4	3	2	4	4	4	5	3	2	4	4	2	5	46
2.4	Espaces verts: Arrosage intelligent	4	3	4	5	2	5	3	1	1	3	3	3	3	40
2.5	Bâtiments municipaux: Smart Transformation: Instrumentation & Smart Services	4	5	4	5	4	5	4	4	3	5	4	4	5	56

La soumission des projets aux experts nous permet d'établir un premier classement, en fonction des scores obtenus par les projets, sans tenir compte du poids des indicateurs de sélection. Le tableau 3-9 classe les projets pilotes en fonction de la notation des experts. Fidèles aux conclusions précédentes, le classement reflète le caractère humain de la démarche. La notation des experts a elle aussi classé les projets à caractère social en première ligne.

Tableau 3-9 : Classement des projets selon la notation des experts

		Global Score
Y ₁	1.1. Plateforme - Outil d'information et de dématérialisation de tous les services urbains	61
Y ₂	1.2. Plateforme - Outil d'interaction avec et entre les citoyens	58
Y ₃	2.5. Bâtiments municipaux: Smart Transformation: Instrumentation & Smart Services	56
Y ₄	1.3. Programme d'entraide intergénérationnelle - Solidarité, Éducation et Fracture Numérique	49
Y ₅	1.4. Démocratie participative: Outil de consultation / concertation et de participation citoyenne	49
Y ₆	2.3. Éclairage public: Modulation de l'éclairage par point	46
Y ₇	2.1. Eau potable: Télé-relève des consommations	41
Y ₈	2.4. Espaces verts: Arrosage intelligent	40
Y ₉	2.2. Assainissement: Instrumentation du réseau d'eaux pluviales pour réduire les risques de débordements	35

3.4.2.3 Classement des projets

A ce stade, nous disposons du classement des projets selon les experts, et du poids des indicateurs de sélection. Nous allons réaliser un nouveau classement, en tenant compte des dits indicateurs. Le tableau 3-10 présente la notation des projets en fonction des critères de sélection. Ce nouveau classement est plus précis que le premier. En effet, l'application des indicateurs de sélection permet de se conformer au contexte local.

Tableau 3-10 : Notation des projets en fonction du poids des indicateurs.

	Investissement (SI)	Les Retombées Sociales (SRS)	Les Retombées Économiques (SRE)	Les Retombées Environnementales (SRV)	Les Délais de réalisation (SD)	Les Barrières d'implémentation (RIB)	Le degré d'interopérabilité (I)	La Disponibilité des Compétences Humaines (HC)	L'Acceptation Sociale (SV)	Score final brut	Score final en tenant compte du poids des indicateurs
Poids des indicateurs	0,116	0,12	0,116	0,118	0,113	0,104	0,102	0,101	0,111		
1.1. Plateforme - Outil d'information et de dématérialisation de tous les services urbains	2	4	3	5	3	3	4	1	5	30	3,365
1.2. Plateforme - Outil d'interaction avec et entre les citoyens	3	3	4	4	4	4	5	3	5	35	3,88
1.3. Programme d'entraide intergénérationnelle - Solidarité, Éducation et Fracture Numérique	2	5	3	4	4	3	3	3	5	32	3,58
1.4. Démocratie participative: Outil de consultation / concertation et de participation citoyenne	3	5	4	4	3	4	4	1	5	33	3,703
2.1. Eau potable: Télé-relève des consommations	4	3	5	5	3	3	4	3	4	34	3,8
2.2. Assainissement: Instrumentation du réseau d'eaux pluviales pour réduire les risques de débordements	3	3	4	5	3	3	3	3	5	32	3,577
2.3. Éclairage public: Modulation de l'éclairage par point	4	5	3	5	3	4	4	3	5	36	4,023
2.4. Espaces verts: Arrosage intelligent	3	3	5	5	3	4	3	3	4	33	3,686
2.5. Bâtiments municipaux: Smart Transformation: Instrumentation & Smart Services	4	5	4	5	4	4	5	5	5	41	4,556

3.4.2.4 Évolution du classement des projets

Le tableau 3-11 donne le classement des projets pilotes, selon l'avis des experts et en tenant compte du poids des indicateurs. Pour une meilleure représentation, nous avons également modélisé à la figure 3- 18 l'évolution et la variation du classement des projets selon les différentes configurations.

Tableau 3-11 : Évolution du classement des projets

	Classement selon l'avis des experts	Classement en tenant compte du poids des indicateurs
1.1. Plateforme - Outil d'information et de dématérialisation de tous les services urbains	1	9
1.2. Plateforme - Outil d'interaction avec et entre les citoyens	2	3
1.3. Programme d'entraide intergénérationnelle - Solidarité, Éducation et Fracture Numérique	4	7
1.4. Démocratie participative: Outil de consultation / concertation et de participation citoyenne	5	5
2.1. Eau potable: Télé-relève des consommations	7	4
2.2. Assainissement: Instrumentation du réseau d'eaux pluviales pour réduire les risques de débordements	9	8
2.3. Éclairage public: Modulation de l'éclairage par point	6	2
2.4. Espaces verts: Arrosage intelligent	8	6
2.5. Bâtiments municipaux: Smart Transformation: Instrumentation & Smart Services	3	1

Une fois les indicateurs de sélection pris en compte, nous remarquons que l'ordre d'importance a été fortement modifié. En se référant seulement à l'avis des experts, nous avons constaté que les projets à caractère social, plus spécialement ceux liés aux plateformes urbaines étaient encouragés et mis en avant. Parmi les projets à caractère infrastructurel, seul le projets pilote 2.5 fédérait un très grand nombre d'acteurs.

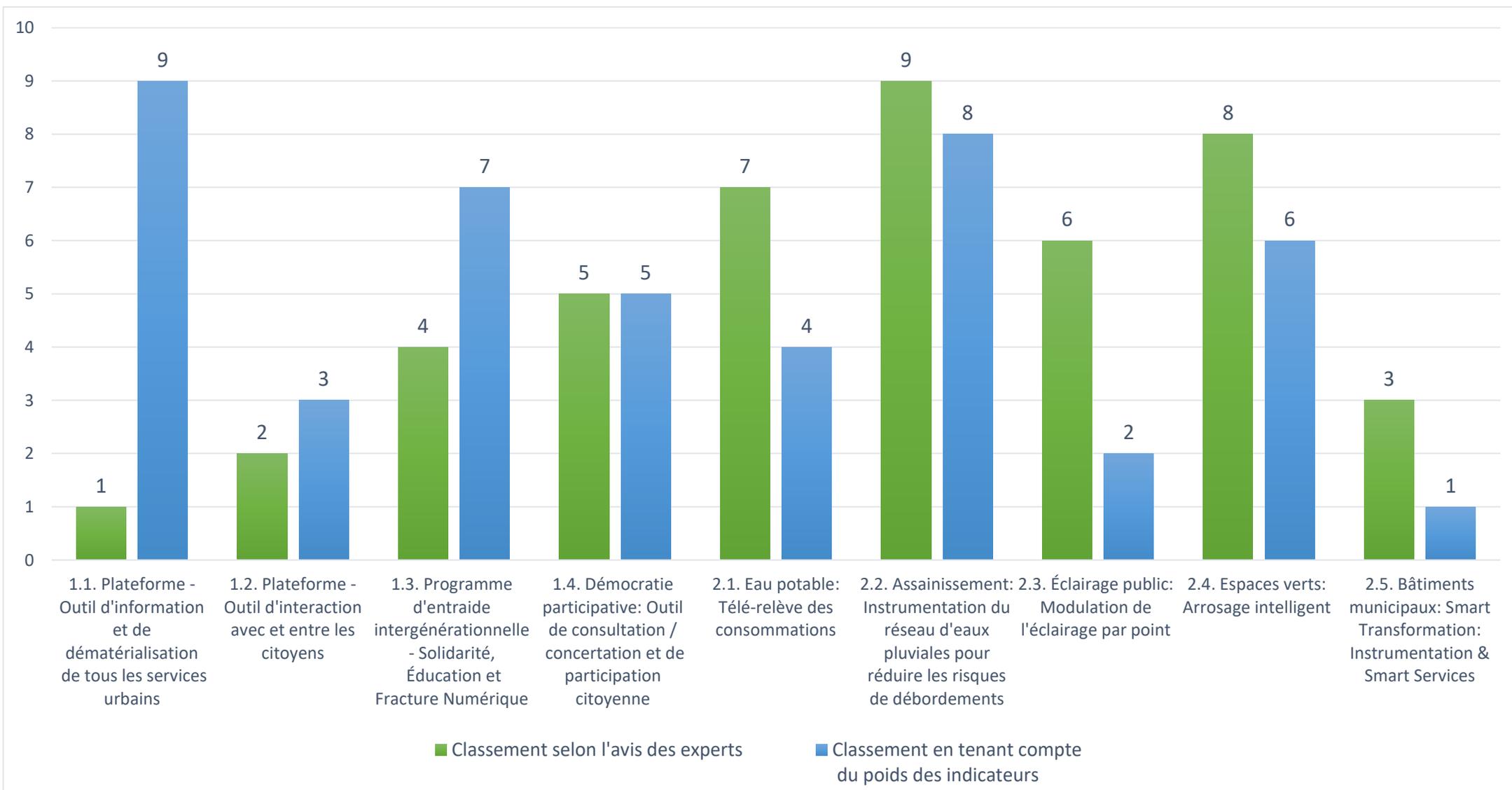


Figure 3-18 : Évolution du classement des projets

Le recours aux indicateurs de sélection permet de se conformer à la réalité. Nous constatons que la tendance a été modifiée. Les projets d'ordre infrastructurel ont pris le dessus, au profit des projets sociaux. Cela s'explique de 2 manières. D'abord la disponibilité des compétences humaines. Penser, développer et entretenir une plateforme urbaine qui concentrerait l'ensemble des services publics et sociaux requiert un investissement très important, en moyens financiers et humains, ce dont ne dispose pas forcément les villes de taille moyennes. D'une autre part, les projets de nature infrastructurel sont plus accessibles. En effet, l'investissement de départ peut s'avérer coûteux, en revanche, l'utilisation et l'entretien de ces technologies s'avère être à la portée des différents agents techniques.

3.5 Conclusion

Ce chapitre a présenté la démarche "Smart City" engagée avec la ville de Saint-Quentin. Le diagnostic urbain a permis de mieux appréhender les problématiques locales et de déterminer les orientations stratégiques et les pistes d'action. Nous avons présenté une série de projets pilotes, tous fidèles à la notion d'intelligence urbaine que nous avons définie auparavant.

Ainsi, nous étions en mesure d'établir une feuille de route Smart City avec une identification des rôles et intérêts des acteurs de la ville. Nous avons noté que les projets à caractère technique ont des scores plus faibles que les projets à dominance sociale ou de service public. Nous avons remarqué que les experts s'intéressent aux bénéfices de la transformation Smart City (société, environnement et tissu économique).

La ville a souhaité démarrer le projet "Smart City" avec la transformation intelligente des bâtiments municipaux. Les chapitres suivants (4 et 5) présentent le travail réalisé dans ce domaine.

4 Chapitre IV : Bâtiment municipaux intelligents - Présentation des bâtiments municipaux de Saint-Quentin

4.1 Introduction

Nous présentons dans le présent chapitre le parc des bâtiments municipaux de la ville de Saint-Quentin, avec un intérêt pour les performances énergétiques.

En 2012, la Ville et la Communauté d'Agglomération de Saint-Quentin ont élaboré leur Plan Climat. Dans ce cadre, elles ont réalisé un audit des bâtiments municipaux (152). Cet audit sera utilisé pour analyser le parc de bâtiments municipaux de la ville de Saint-Quentin.

4.2 Description générale des bâtiments municipaux

4.2.1 Nombre et usage

La ville de Saint-Quentin dispose de 152 bâtiments municipaux, d'une superficie totale de 209604 m². Les bâtiments peuvent être classés d'après leurs usages dans les catégories suivantes :

- Bâtiments Scolaires et Restauration (S&R)
- Bâtiments Sportifs (S)
- Bâtiments Administratifs (BA)
- Logements (L)
- Bâtiments Techniques (BT)
- Bâtiments Sociaux, Culturels et sanitaires (S&C)

Le tableau 4-1 renseigne sur la répartition de ces bâtiments, en nombre, surface et usage.

Tableau 4-1 : Nombre et surfaces totales pour chaque catégorie de bâtiment

Catégorie	Nombre de bâtiments	Surface Totale (m ²)	Surface Moyenne (m ²)	Surface Maximale(m ²)	Surface Minimale (m ²)	Écart-type (m ²)
Scolaires (S&R)	33	55978	1696,3	6141	27	1307,4
Sports (S)	25	42331	1693,2	9553	100	1870,8
Administratifs (BA)	33	64652	1959,2	11234	58	2897,6
Logement (L)	33	3110,3	94,3	370	57,65	55,2
Techniques (BT)	4	16995	5665	16768	52	9615,7
Sociaux (S&C)	24	17191,5	859,6	2742	21	776,9

Nous constatons que les bâtiments dédiés à l'éducation, aux services administratifs ainsi qu'aux logements représentent plus de 65% du total des bâtiments. Les bâtiments techniques ne représentent que 2% du patrimoine. Par ailleurs, la superficie des bâtiments se situe entre 3110m² et 64 652 m². Les surfaces maximales varient entre 370 m² et 11 234 m². Quant aux surfaces minimales, elles sont comprises entre 21m² et 100 m². Enfin, nous constatons que les bâtiments scolaires occupent la plus grande surface soit 27% de la surface totale des bâtiments. Les logements quant à eux, ne représentent que 1% de la surface totale. Pour une meilleure visualisation des proportions en nombre de bâtiments pour chaque catégorie, la figure 4-1 représente la répartition en des bâtiments en différentes catégories.

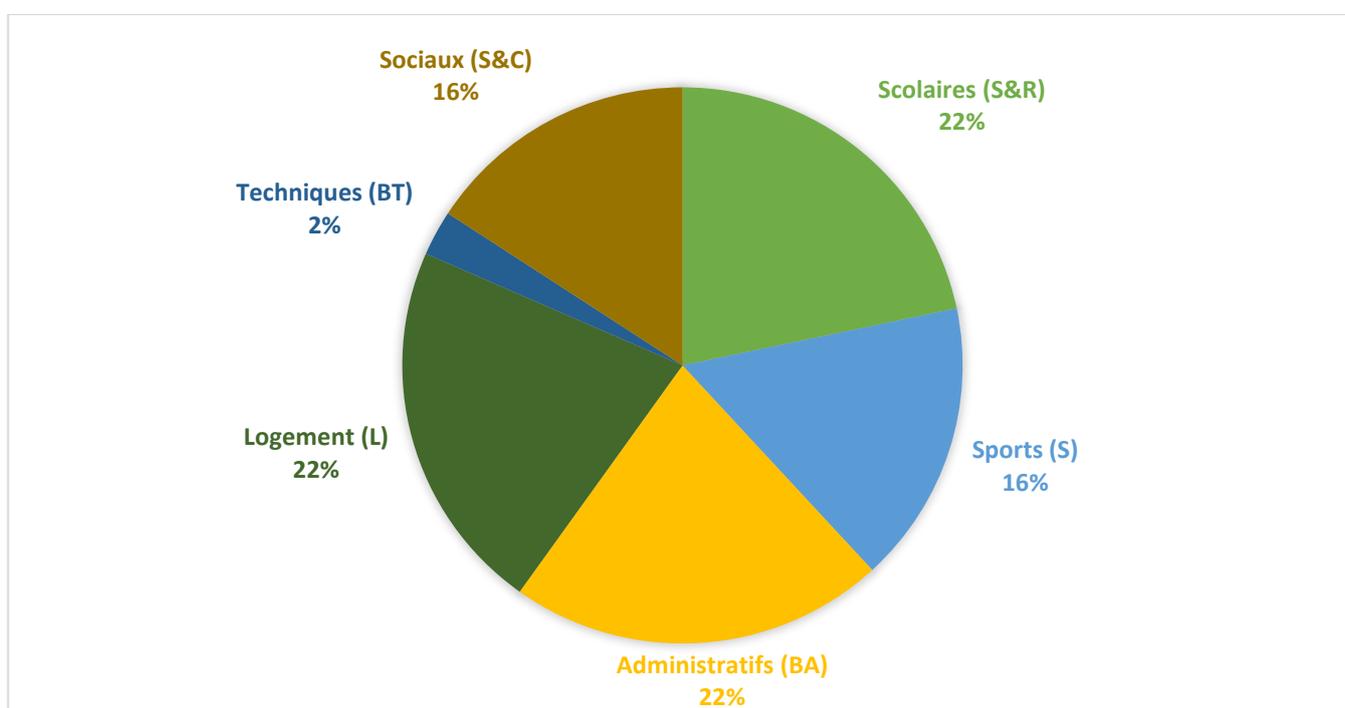


Figure 4-1 : Répartition des bâtiments par catégorie

4.2.2 Age des bâtiments

Saint-Quentin a été impactée par les deux guerres mondiales. De ce fait, très peu de bâtiments datent du 19^{ème} siècle, et pour près du tiers des bâtiments, la date de construction est inconnue. La figure 4-2 représente la répartition des bâtiments d'après leurs âge et usage.

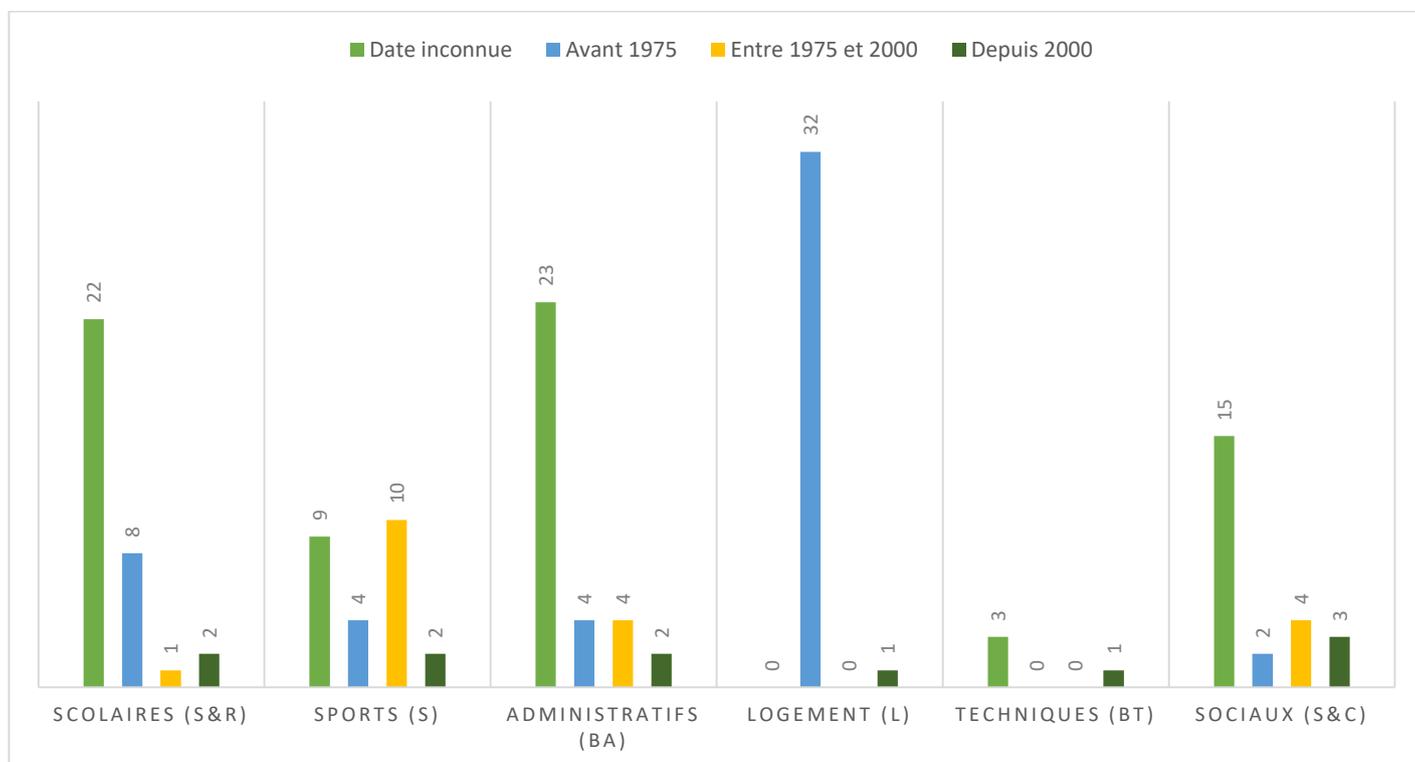


Figure 4-2 : Répartition des âges des bâtiments en fonction de leur usage

Nous constatons que pour la majorité des secteurs (excepté le logement), la date de construction est inconnue. Pour ce qui est des logements, 97 % datent d'avant 1975. Seul un ensemble résidentiel date de l'an 2000.

Dans l'ensemble, nous remarquons que les logements à Saint-Quentin sont anciens et datent d'avant 1975. Les bâtiments nouvellement construits ou réhabilités ne concernent que 11 bâtiments, soit 7 % du parc. La figure 4-3 représente la proportion des âges des bâtiments en fonction de leur usage.

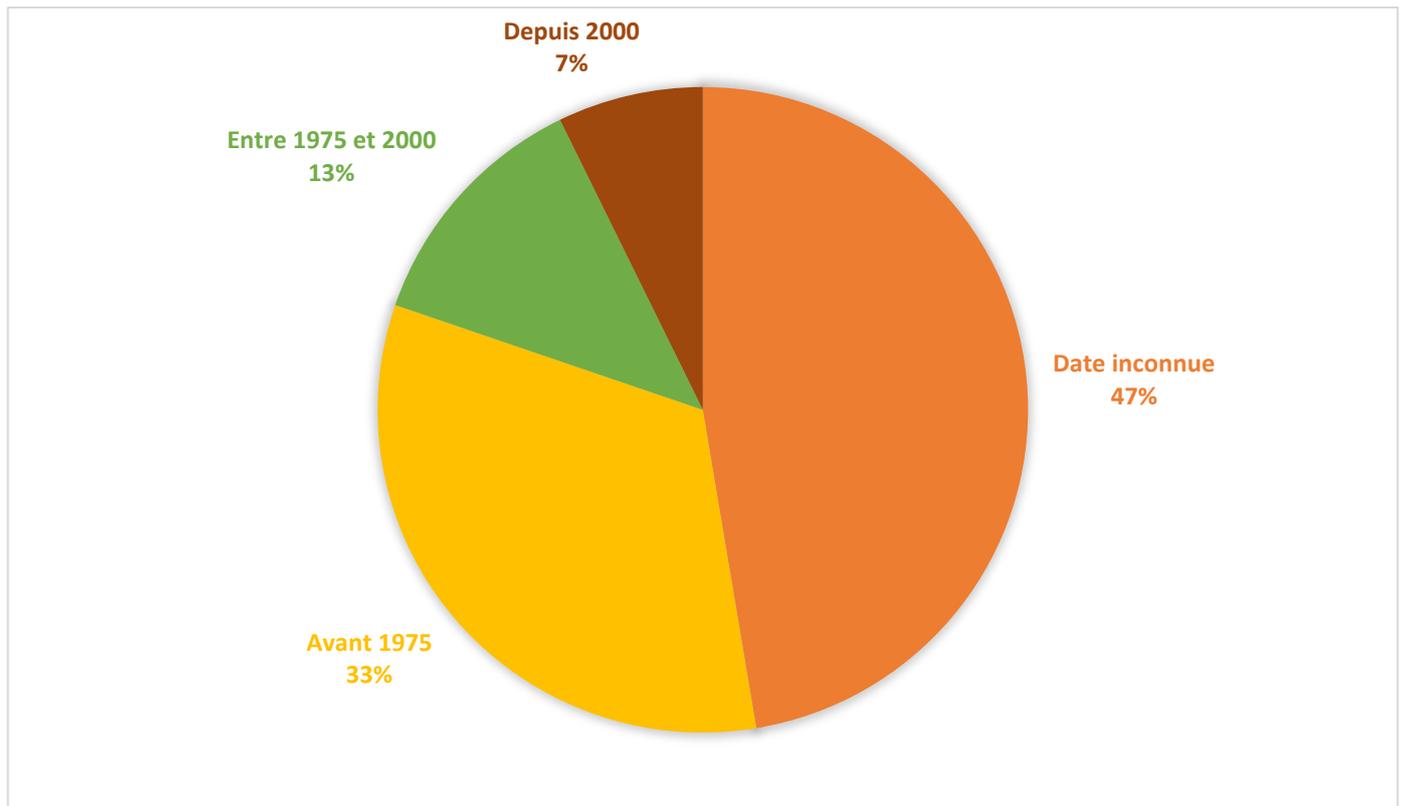


Figure 4-3 : Proportion des âges des bâtiments en fonction de leur usage.

4.2.3 Équipements techniques

D'après les rapports de diagnostic énergétique, les équipements techniques concernant le chauffage, la ventilation, l'éclairage et les sanitaires sont anciens. De même, les enveloppes des bâtiments ainsi que les menuiseries sont pour la plupart anciennes et déprédatives. La ventilation est le plus souvent naturelle, par grilles de ventilations et infiltrations au niveau des menuiseries. Ce type de ventilation ne permet pas de maîtriser les débits, ce qui conduit à des déperditions thermiques et augmente la consommation de chauffage.

L'éclairage est principalement constitué de tubes fluorescents et d'ampoules incandescentes de type ancien. De plus, très peu de bâtiments sont équipés en Gestion Technique Contrôlée (GTC) ou Gestion Technique du Bâtiment (GTB).

La gestion du système de chauffage pour l'ensemble des bâtiments est déléguée à un prestataire extérieur. La consigne de chauffage pendant les périodes d'occupation est de 19 °C et de 12 °C en période d'inoccupation.

4.2.4 Chauffage

Trois types d'énergie sont utilisés dans le chauffage: le gaz, l'électricité et le réseau urbain de chaleur. La figure 4-4 représente le type d'énergie nécessaire à la production de la chaleur des bâtiments, pour chaque catégorie. Nous remarquons que l'énergie la plus utilisée est le gaz. Nous remarquons également que le réseau de chaleur urbain profite plus aux logements qu'aux autres catégories. L'énergie électrique est plus utilisée par les bâtiments à usage administratifs. Nous pouvons aussi dire que la majorité des bâtiments utilisent une source unique pour le chauffage. En effet, seuls 8 bâtiments utilisent des énergies mixtes pour le chauffage, essentiellement les bâtiments à usages sportifs. La figure 4-5 représente la proportion des énergies utilisées pour le chauffage.

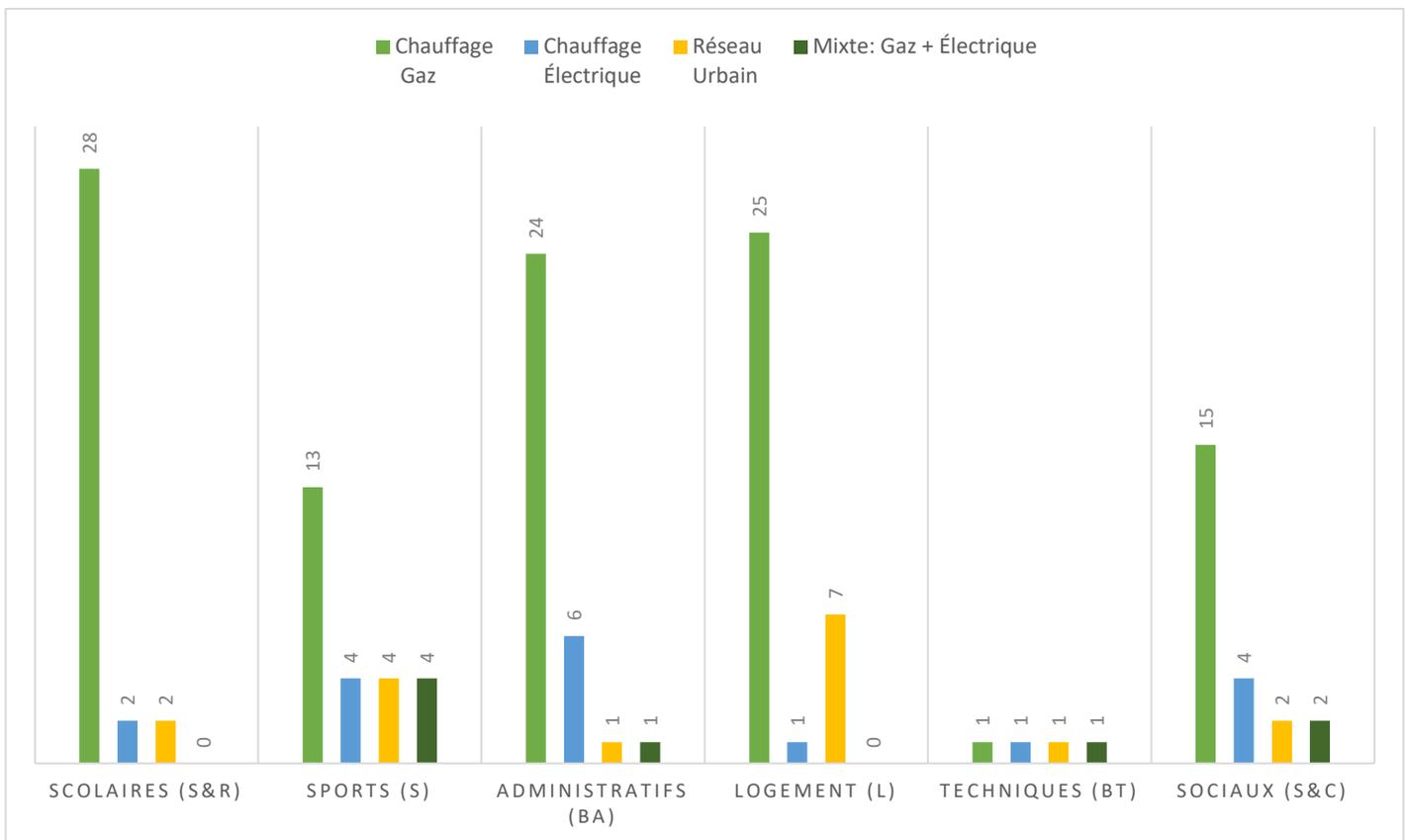


Figure 4-4 : Type d'énergie nécessaire à la production de la chaleur par catégorie de bâtiment

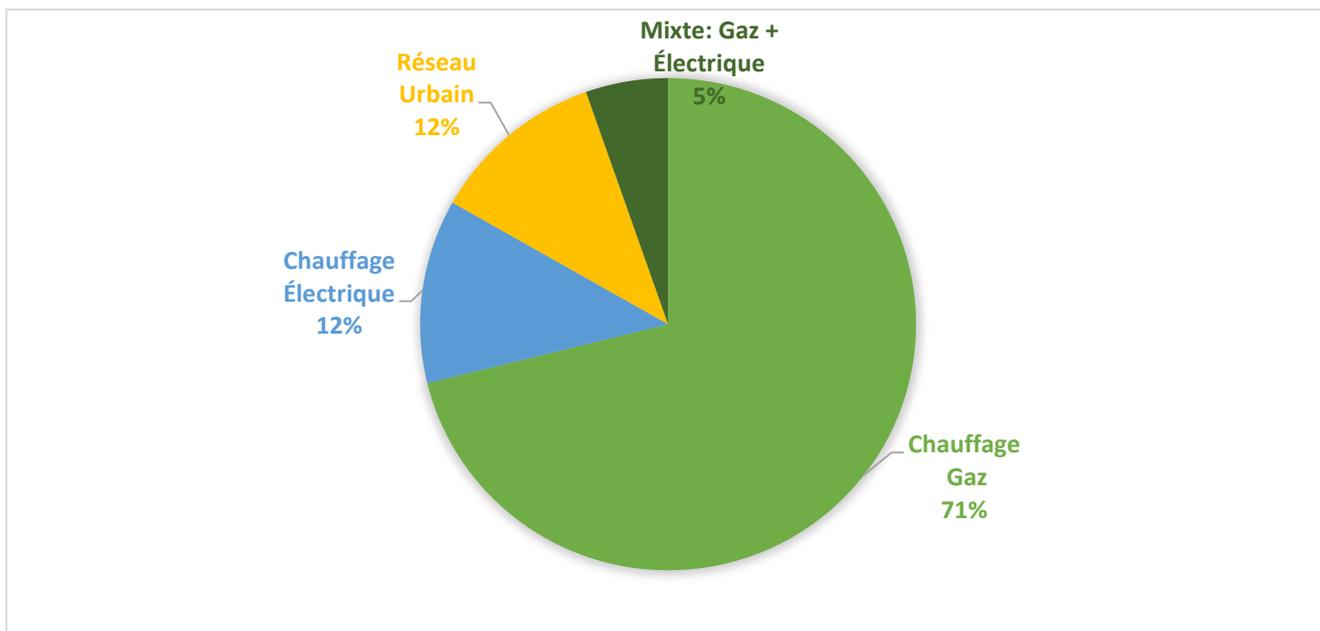


Figure 4-5 : Proportion des énergies utilisées pour la production de chaleur

Comme nous l'avons précédemment évoqué, le gaz est l'énergie la plus utilisée pour le chauffage (71 % des bâtiments). Le chauffage électrique est utilisé dans 12% des bâtiments de la ville.

La figure 4-6 représente la répartition du type de chauffage par catégorie de bâtiments. Nous remarquons que le chauffage individuel est le plus utilisé. Le chauffage collectif est faiblement présent, on le retrouve le plus dans les logements.

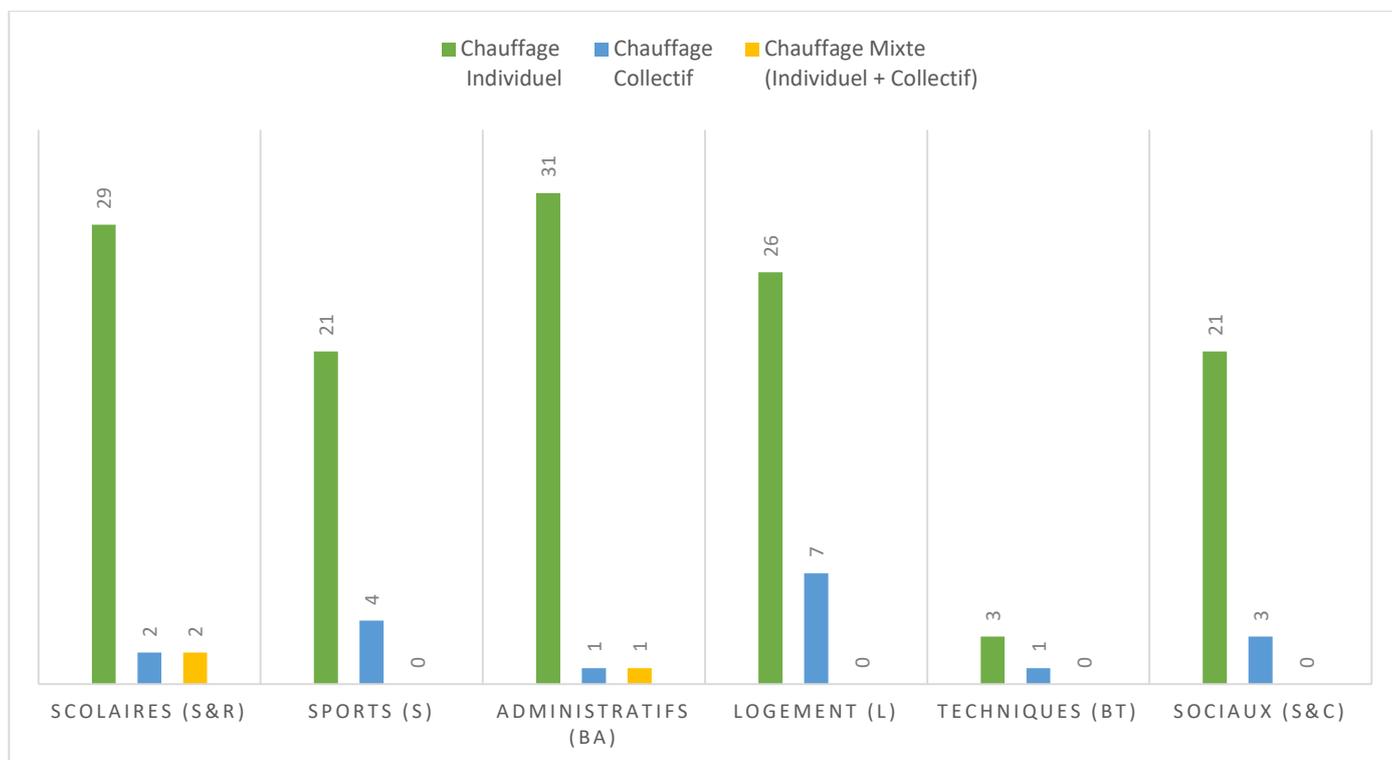


Figure 4-6 : Type de chauffage par catégorie de bâtiments

La figure 4-7 ci-après, représente la proportion de chaque type de chauffage utilisé. Comme nous l'avons précédemment évoqué, le chauffage individuel est dominant. Il couvre 86 % des chauffages utilisés. Suivis des chauffages collectifs mais dans une proportion largement inférieure, soit 12 %. Enfin, les chauffages mixtes sont faiblement présents dans les bâtiments de Saint-Quentin (uniquement 2%).

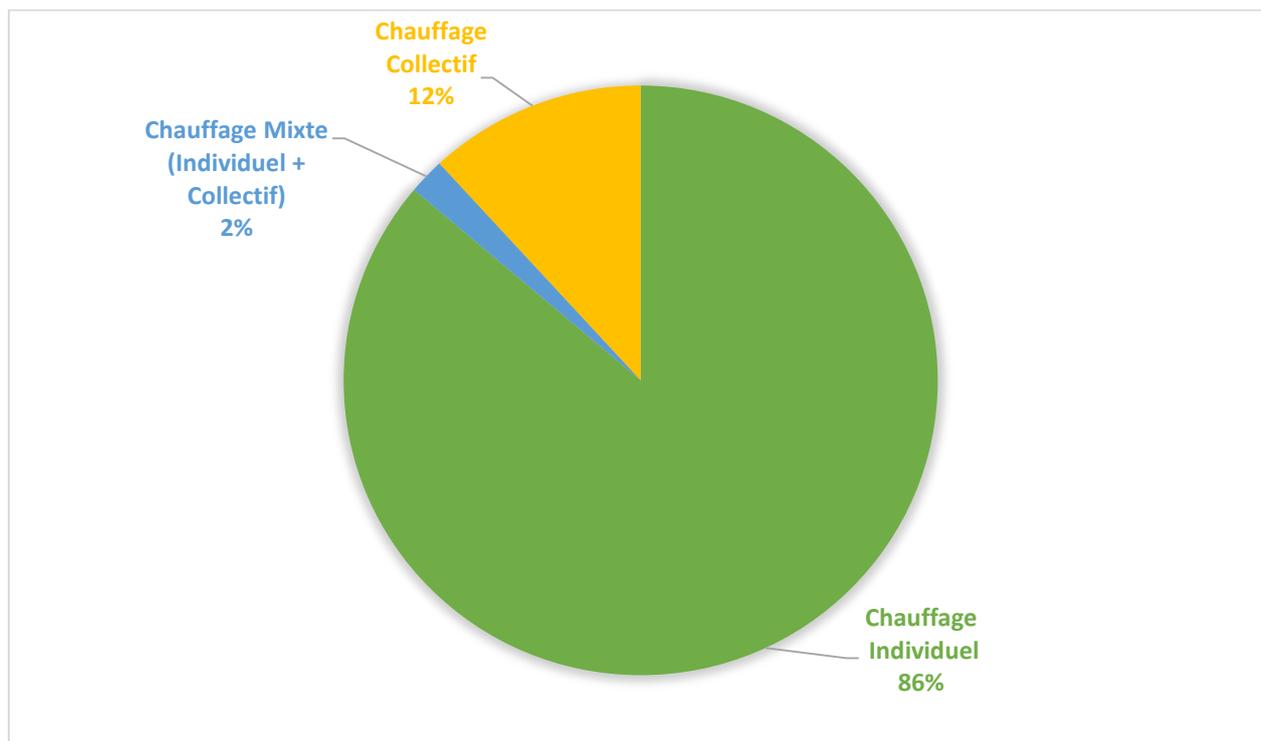


Figure 4-7 : Proportion de chaque type de chauffage

4.2.5 Consommation d'énergie

Le tableau 4-2 présente la consommation en énergie primaire (EP) par catégorie de bâtiments. On note que les bâtiments administratifs (22 % de l'ensemble des bâtiments) sont les plus consommateurs d'énergie primaire : 14 746 415 kWhEP soit 32% de l'énergie primaire totale. La consommation des bâtiments scolaires est également importante : 10 455 165 kWhEP soit 22% de l'énergie primaire. Enfin, les logements ne consomment que 2,5% de l'énergie totale. Par ailleurs, l'énergie primaire consommée par les bâtiments techniques est particulièrement élevée, étant donné que ces derniers ne représentent que 2 % des bâtiments municipaux. A noter également, le fort écart type.

Tableau 4-2 : Consommation en énergie primaire par catégorie de bâtiment

Catégorie	Énergie primaire (kWhEP)	Énergie primaire Moyenne (kWhEP)	Énergie primaire Maximale (kWhEP)	Énergie primaire Minimale (kWhEP)	Écart-type
Scolaires (S&R)	10 455 165	326 724	1 110 170	13 750	231 939
Sports (S)	8 893 782	355 751	1 572 186	32 222	339 923
Administratifs (BA)	14 746 415	491 547	2 897 743	21 172	747 080
Logement (L)	1 160 973	35 181	113 206	17 705	16 709
Techniques (BT)	3 613 473	903 368	2 474 115	23 453	1 161 056
Sociaux (S&C)	6 842 644	311 029	819 982	5 031	247 761

La figure 4-8 illustre la part de consommation en EP pour chaque catégorie de bâtiment, ainsi que la part de chaque catégorie de bâtiment dans le parc communautaire. Comme annoncé précédemment, il paraît clairement que les bâtiments administratifs sont les plus consommateurs d'énergie. Ils consomment près du tiers de l'EP totale. Les bâtiments scolaires se trouvent en deuxième position et ce en consommant 23% de l'énergie primaire totale.

Bien que les logements représentent plus d'un cinquième des bâtiments municipaux, leur consommation en EP n'est que de 3 % de l'énergie totale. En revanche, les bâtiments techniques ne représentent que 2 % de l'ensemble des bâtiments, mais ils consomment 8 % de l'énergie totale.

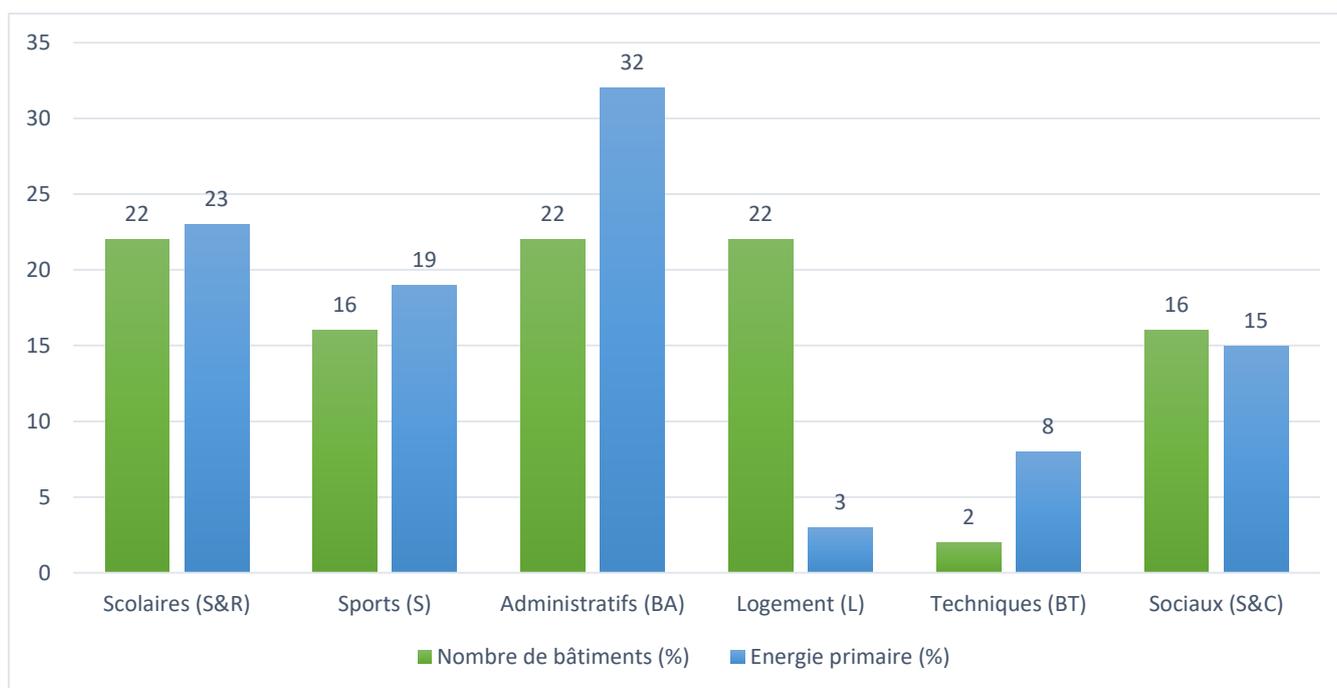


Figure 4-8 : Part de consommation en EP et de chaque catégorie de bâtiment et pourcentage de bâtiment par catégorie

4.2.6 Émissions de CO₂

Le tableau 4-3 montre les émissions totales, moyennes, minimales et maximales pour chaque groupe de bâtiments. A noter l'absence de données dans cette partie concernant les logements, mais au vu de leur taille, de leur nombre et de leur consommation en EP, leur empreinte environnementale serait bien plus faible que les autres catégories de bâtiments.

Tableau 4-3 : Émissions de CO₂ pour chaque groupe de bâtiments

Catégorie	Émissions Totales de CO ₂ (t)	Émissions Moyennes de CO ₂ par bâtiment (t)	Émissions Maximales de CO ₂ (t)	Émissions Minimales de CO ₂ (t)	Écart-type
Scolaires (S&R)	1 865	62	237	4	49
Sports (S)	1 095	44	200	4	43
Administratifs (BA)	1 525	56	379	1	92
Logement (L)	NC	NC	NC	NC	NC
Techniques (BT)	449	112	368	2	174
Sociaux (S&C)	1 069	51	152	0	43

Nous remarquons que les bâtiments scolaires émettent le plus de dioxyde de carbone. En revanche, les bâtiments techniques en émettent le moins. Notons le grand écart-type entre les différentes valeurs de CO₂ pour ces bâtiments techniques.

La figure 4-9 montre la proportion de l'EP consommée et des émissions de CO₂ pour chaque catégorie de bâtiments. On note que les bâtiments à usages technique, sportifs et social consomment et polluent de manière équivalente. En revanche, les bâtiments scolaires sont plus polluants. En effet, ils consomment près du quart (23 %) de l'EP, et sont à l'origine de 31 % des émissions de CO₂. Les bâtiments administratifs sont plus énergivores que polluants. Ils consomment près d'un tiers (32 %) de l'EP totale, et ne sont responsables que du quart des émissions de CO₂.

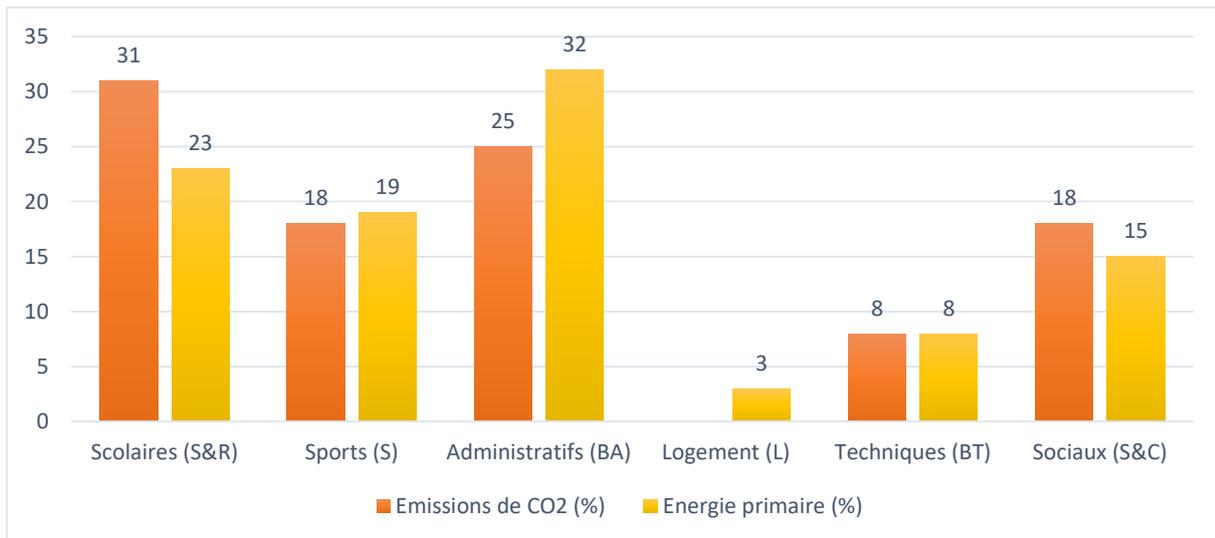


Figure 4-9 : Proportion de l'EP consommée et des émissions de CO₂ pour chaque catégorie de bâtiments

4.3 Analyse de la consommation d'énergie et de l'impact environnemental

Dans cette section, nous allons analyser les consommations en énergie primaire des bâtiments municipaux, ainsi que les émissions de CO₂.

4.3.1 Données globales

Dans un premier temps, nous commençons par analyser tous les bâtiments en un seul lot. Nous commençons par dresser la matrice de corrélation entre l'énergie primaire totale ainsi que celle rapportée au m², de même que pour les émissions de CO₂, ainsi que la surface de chaque bâtiment. La matrice de corrélation est représentée à la figure 4-10. Nous pouvons observer une très forte corrélation (0,95) entre l'énergie primaire consommée (en kWhEP) et la quantité de CO₂ émise (en tonnes). Nous avons également représenté la distribution de ces deux grandeurs dans la figure 4-11. On vérifie bien que la relation entre ces deux grandeurs est quasi linéaire. En considérant cela, nous ne considérerons que l'une de ces deux grandeurs pour la suite de notre analyse.

Cependant, nous remarquons qu'une fois rapportées au m², la corrélation entre l'énergie consommée et les émissions de CO₂ est de 0.74. Nous avons reporté la distribution de l'énergie primaire par m² en fonction des émissions de CO₂ par m² à la figure 4-12. On remarque que la relation entre ces deux grandeurs n'est plus aussi linéaire que précédemment.

Afin d'éclaircir ce point, nous reportons la répartition de la consommation d'énergie primaire en fonction de la surface de chaque bâtiment dans la figure 4-13. Nous avons fait de même pour la quantité de CO₂ émise par chaque bâtiment en fonction de sa surface (Figure 4-14).

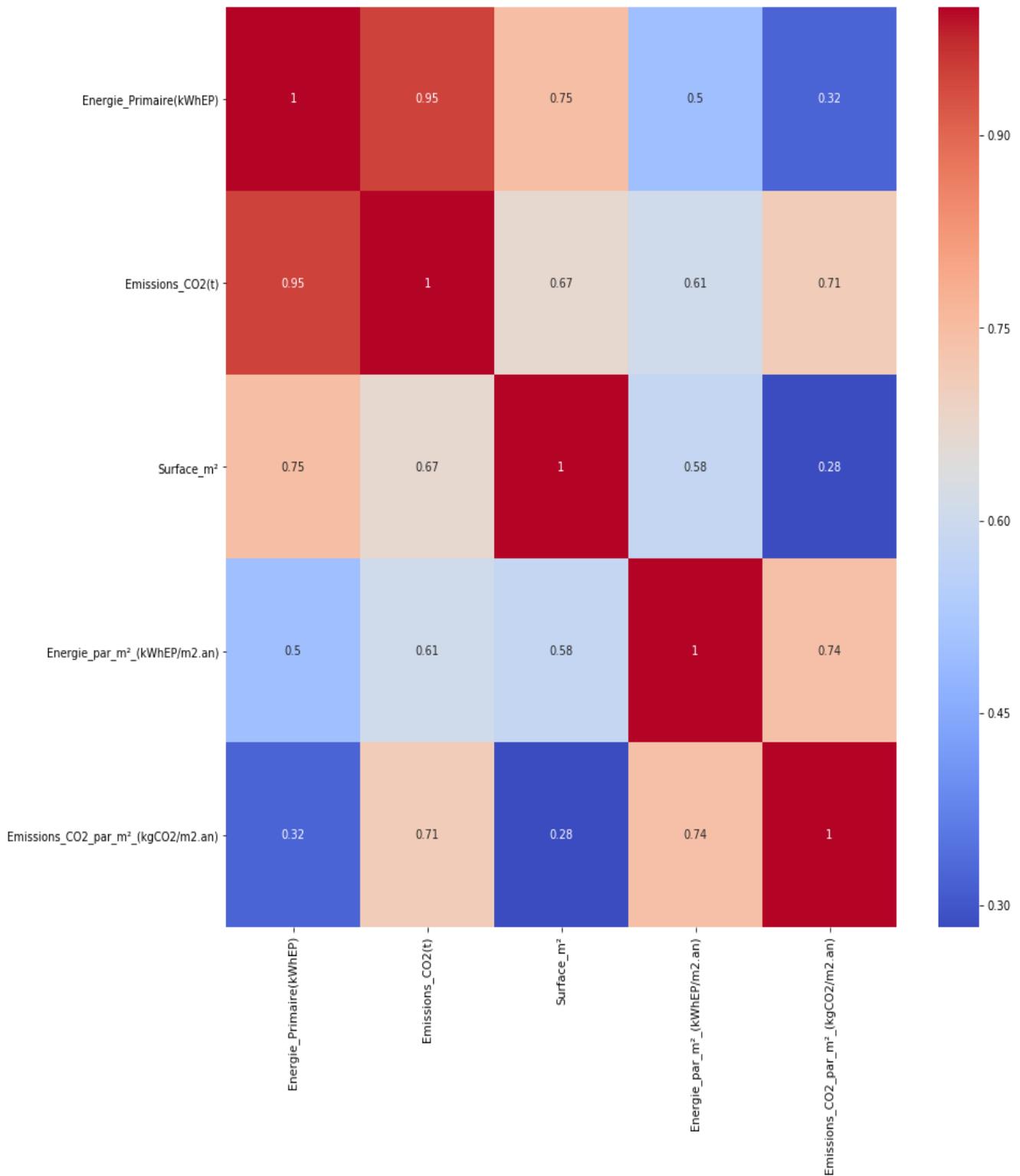


Figure 4-10: Matrice de corrélation entre l'EP, les émissions de CO₂ et la surface des bâtiments

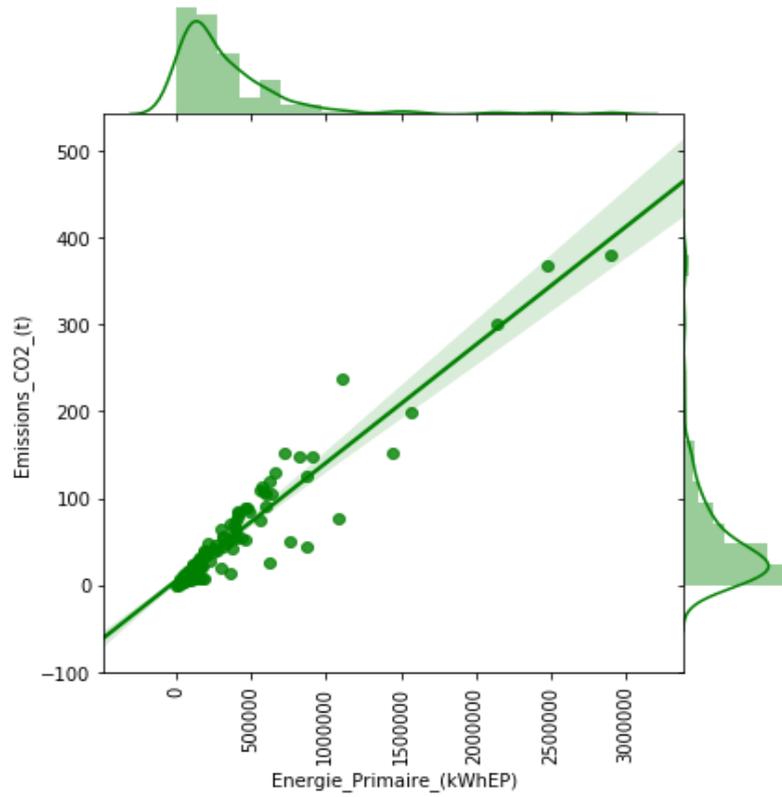


Figure 4-11 Relation entre les émissions de CO₂ et l'énergie primaire consommée

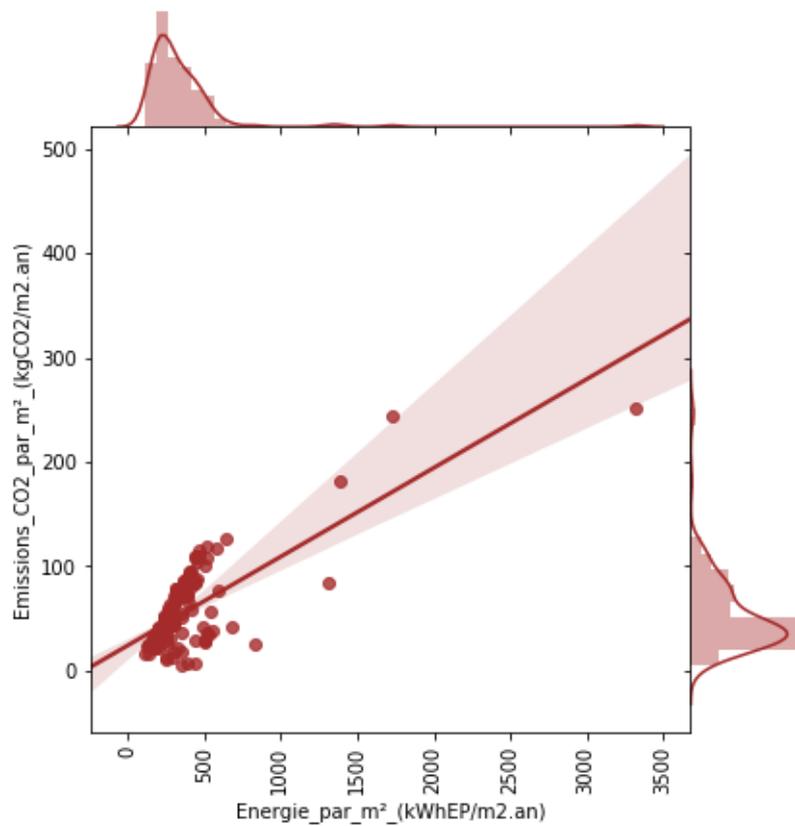


Figure 4-12 : Relation entre les émissions de CO₂ par m² et l'énergie primaire par m².

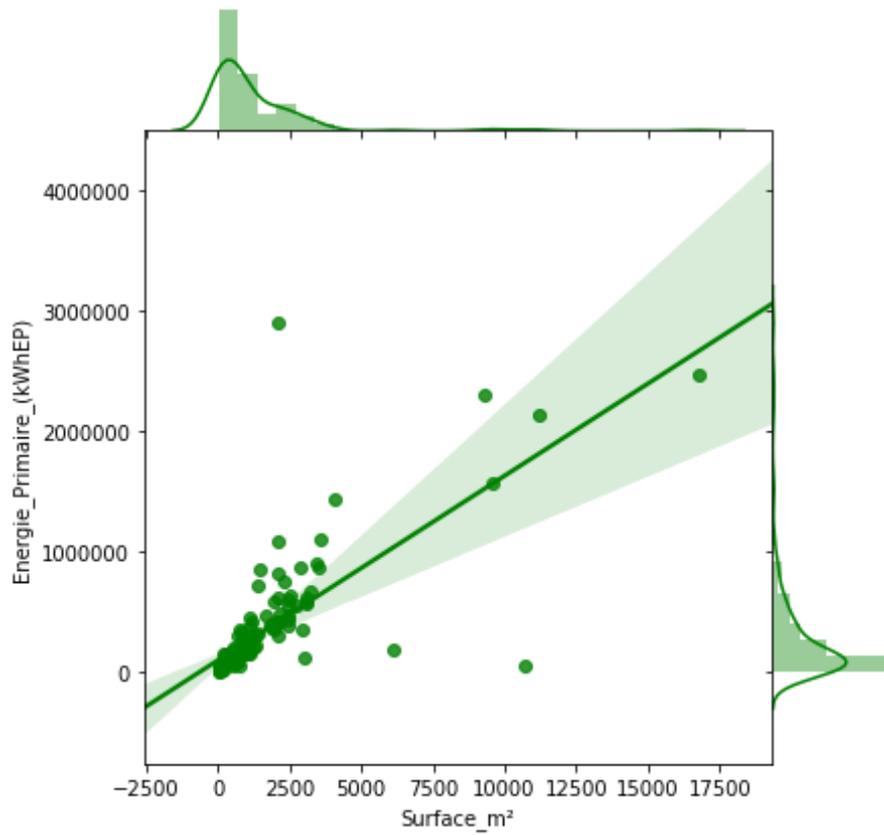


Figure 4-13 : Relation entre la consommation d'énergie primaire et la surface des bâtiments

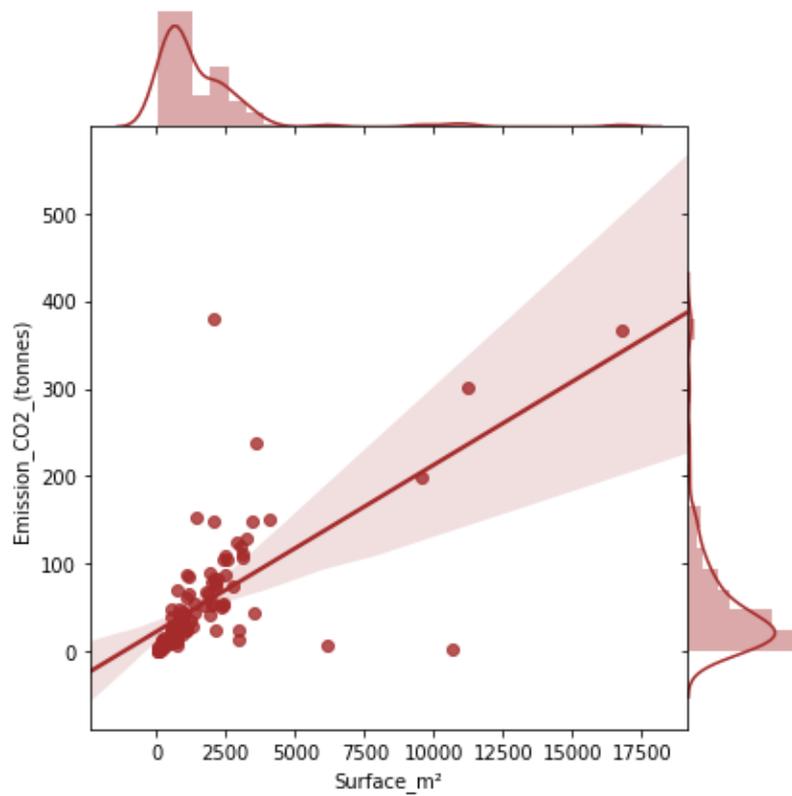


Figure 4-14 : Relation entre les émissions de CO₂ et la surface des bâtiments

A partir de la matrice de corrélation, nous avons pu déduire une corrélation de 0,75 entre l'énergie primaire et la surface des bâtiments. La figure 4-13 nous permet de le visualiser et de le vérifier. Nous constatons néanmoins une forte concentration linéaire de la majorité des valeurs, avec des valeurs qui sortent du lot. Certains bâtiments ne consomment pas énormément d'énergie, alors que leur superficie est plus élevée que la superficie moyenne des bâtiments municipaux. D'une autre part, le bâtiment ayant la consommation la plus élevée, semble avoir une superficie équivalente à la moyenne des superficies.

Le même constat est fait pour les émissions de CO₂. La matrice de corrélation (figure 4-10) donne une corrélation de 0,67. On peut observer à la figure 4-12, une forte concentration linéaire autour d'un noyau commun, compris entre 21 et 114 tonnes de CO₂ pour une superficie variant de 100 m² (pour les logements) à 4000 m² (pour les écoles). Là encore, certains bâtiments dont la surface dépasse les 5000 m², polluent tout autant qu'un logement de 100 m². D'une autre part, le bâtiment le plus polluant a une superficie quasi équivalente à la moyenne des surfaces des bâtiments municipaux.

4.3.2 Valeurs « normales et cohérentes »

L'une des particularités des bâtiments municipaux, et plus généralement des bâtiments tertiaires, réside dans leur modes d'occupation et d'usage. Contrairement aux logements, certains de ces bâtiments voient leurs fréquences et leur taux d'occupation varier selon différents paramètres (saison de l'année, événement spécial, manifestations, tournoi, vacances scolaires, etc...). D'autres bâtiments consomment plus que la moyenne du fait de leur usage spécifique (exemple : piscine municipale). Cela pourrait être à l'origine de la disparité de l'empreinte environnementale et écologique des différents bâtiments.

Nous avons identifié 12 bâtiments avec des consommation anormales compte tenu de leur taille. Il s'agit de :

- 2 piscines
- Un Centre Technique
- Le Palais des sports
- Un gymnase
- Un ensemble de terrains de tennis
- L'Hôtel de Ville
- Un parking
- Les halles municipales
- Une salle de spectacle

Nous allons réitérer notre analyse des consommations, des émissions et de la surface sans tenir compte des bâtiments précités. Nous avons modélisé la corrélation entre trois mesures seulement : l'énergie primaire, les émissions de CO2 et la surface. La matrice de corrélation est représentée à la figure 4-15. Nous remarquons une nette amélioration des résultats, que ce soit entre l'EP et les émissions de CO2, mais surtout au niveau de la surface des bâtiments. La corrélation entre l'énergie primaire et la surface est passée de 0.75 à 0.93, et la corrélation entre les émissions de CO2 et la surface est passée de 0.67 à 0.92. La corrélation entre l'EP et les émissions de CO2 passe de 0.95 à 0.97. Pour vérifier cela, nous avons reporté à la figure 4-16, la distribution des émissions de CO2 en fonction de l'EP, et à la figure 4-17, la distribution de l'EP en fonction de la surface.

En regardant les données de plus près ainsi que la manière dont elles sont produites, nous décidons de plus tenir compte de l'EP et des émissions de CO2 rapportés au m². En effet, la surface totale utilisée tient compte généralement des surfaces privatives des bâtiments, pas spécialement des surfaces qui concentrent une demande en énergie. Les cours des écoles en sont un bon exemple. De ce fait, pour garantir un traitement équitable dans notre analyse, nous nous contenterons de l'EP totale consommée, des émissions de CO₂ totales et de la surface du bâtiment.

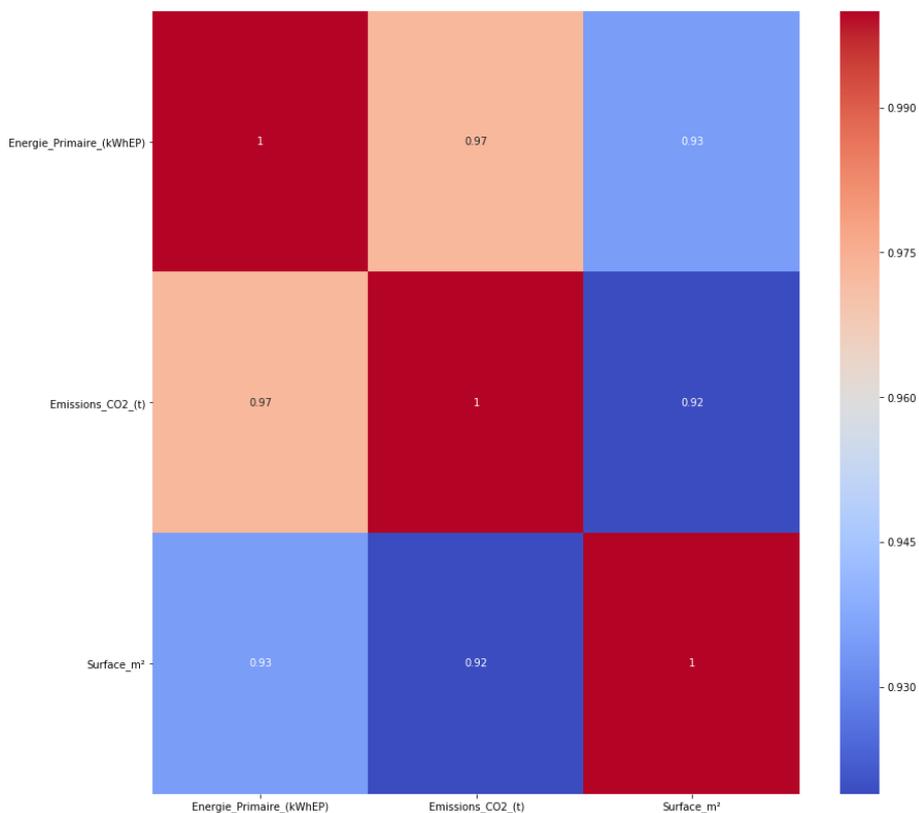


Figure 4-15 : Matrice de corrélation entre l'EP, les émissions de CO2 et la surface

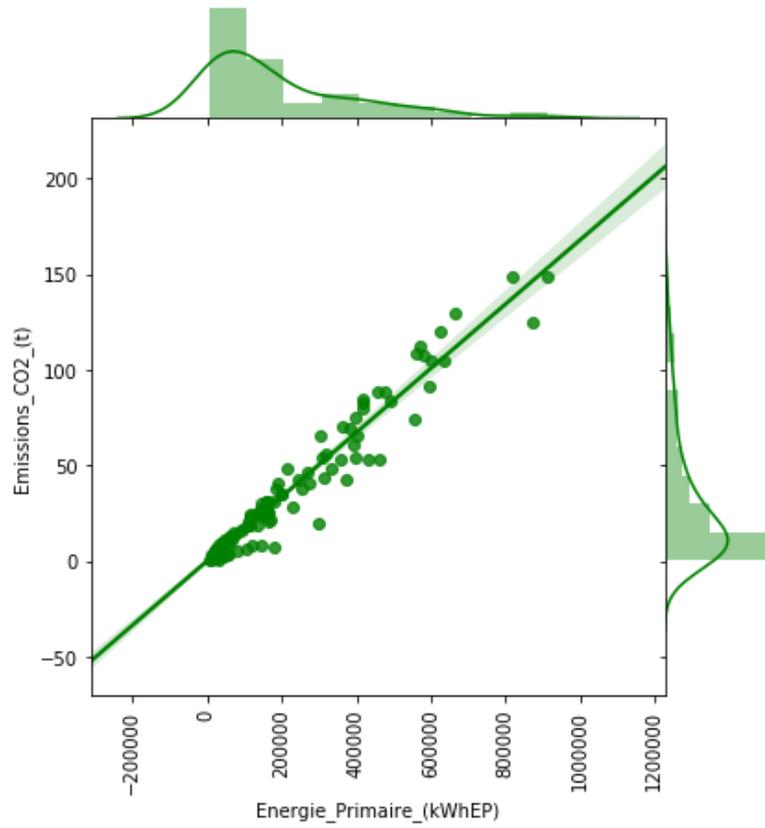


Figure 4-16 : Distribution des émissions de CO2 en fonction de l'EP.

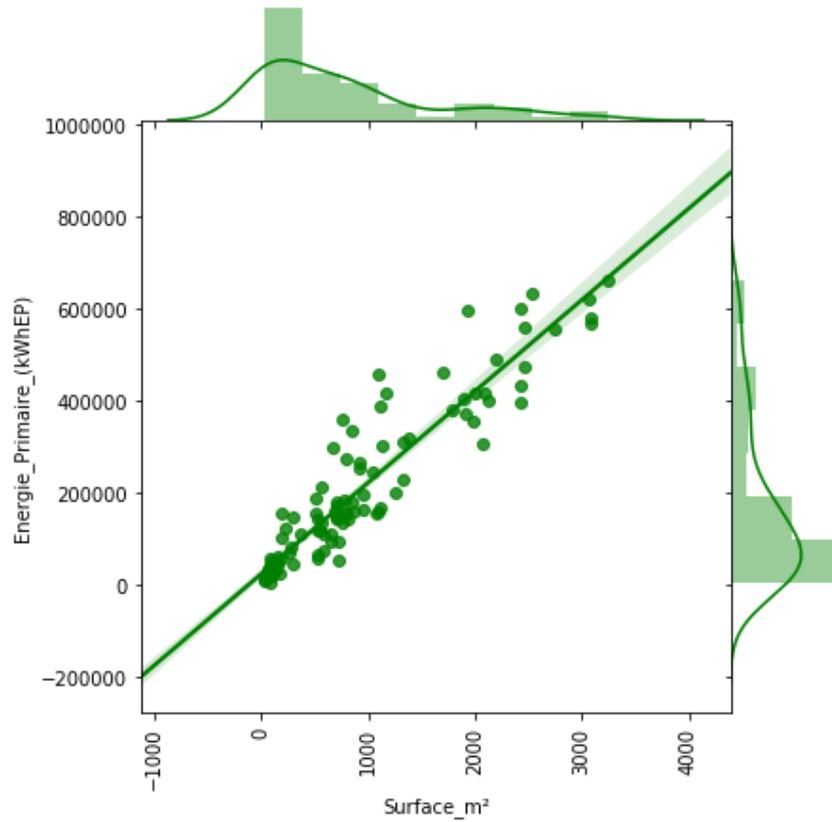


Figure 4-17 : Distribution de l'Ep en fonction de la surface

4.3.3 Consommation ou émissions "anormales"

Dans cette section, nous allons étudier les bâtiments ayant une consommation ou des émissions anormales.

Nous avons une fois de plus modélisé la matrice de corrélation (figure 4-18) entre l'EP, les émissions de CO2 et la surface des bâtiments. On remarque une faible corrélation (-0,35).

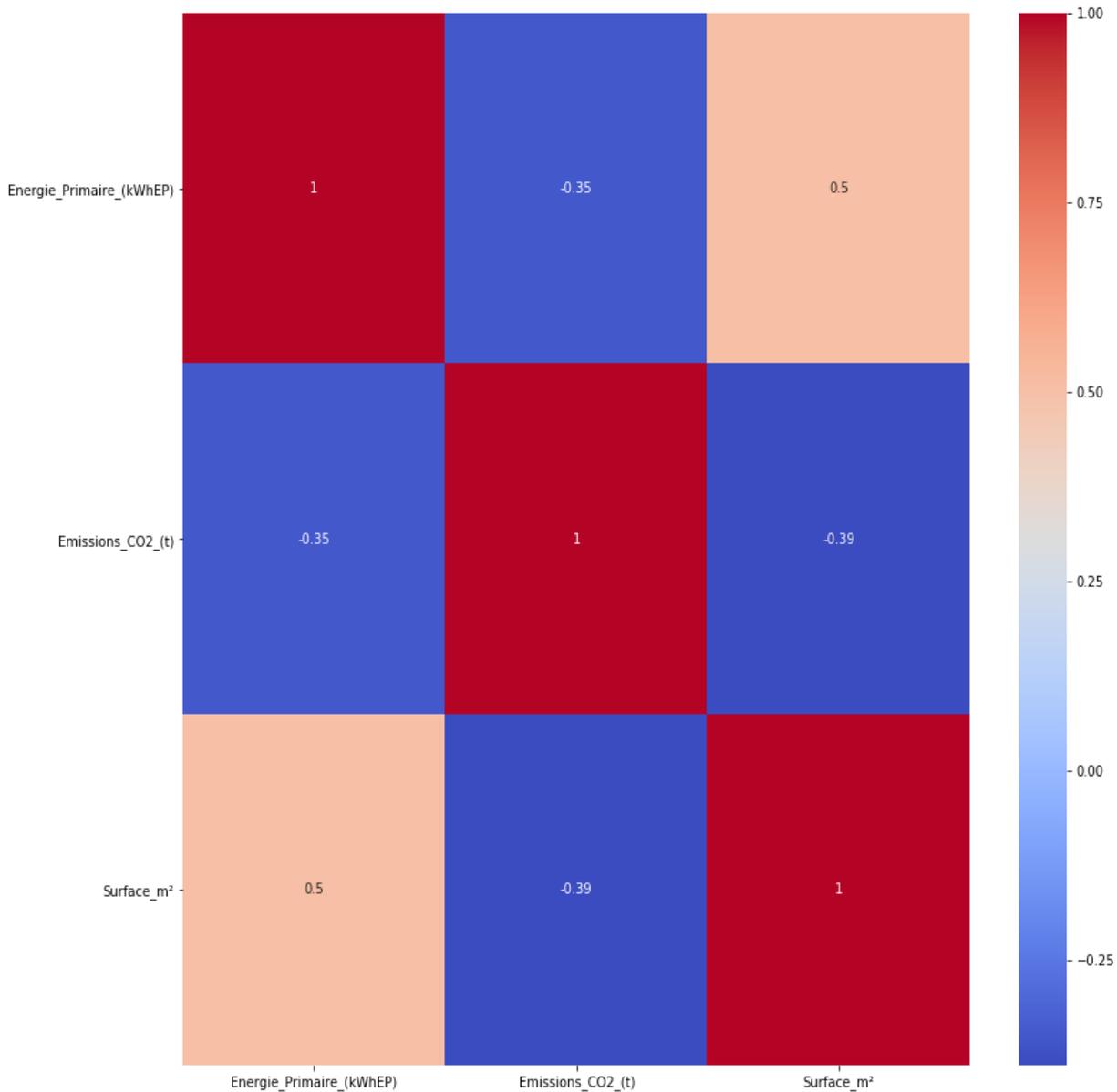


Figure 4-18 : Matrice de corrélation entre EP, émissions CO2 et surface

Pour appuyer nos résultats nous avons reporté la distribution des émissions de CO2 en fonction de l'EP (figure 4-19). On vérifie que la faible corrélation entre l'EP et les émissions de CO2. De même que pour la distribution de la surface en fonction de l'EP consommée (figure 4-20).

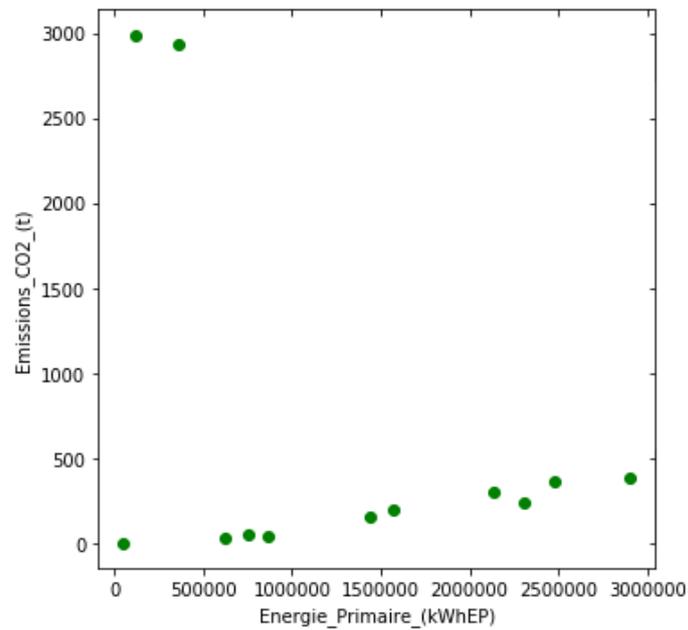


Figure 4-19 : Distribution des émissions de CO₂ en fonction de la consommation en EP

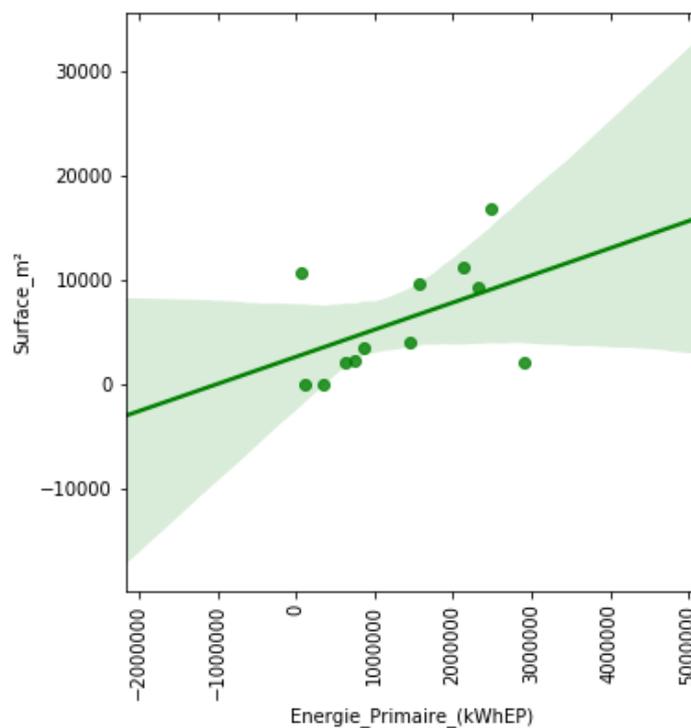


Figure 4-20 : Distribution de la surface en m² par rapport à la consommation en EP en kWhEP

Ces bâtiments comportent deux piscines chauffées. La surface de ces piscines n'est pas excessivement grande, mais leurs installations techniques sont énergivores. De même que pour le centre technique, en termes d'effectif, de fréquence et de temps d'occupation, c'est l'un des bâtiments les plus sollicités. Pour ce qui est du terrain de tennis, le parking, les halles

municipales, ces bâtiments présentes des surfaces importantes, mais compte tenu de leur usage, l'utilisation de l'énergie pour des besoins d'éclairage et de chauffage est limitée.

En ce qui concerne la salle de spectacle, le gymnase et le palais des sports, leur occupation n'est pas continue. De plus, ces bâtiments accueillent un grand nombre de personnes (du moins de manière prévisionnelle), il est normal que la taille des équipements prévus en conséquence, contribue à augmenter la consommation d'énergie.

L'Hôtel de ville consomme bien plus que la moyenne des bâtiments du fait de son intense occupation. Il héberge plusieurs points d'accueils des citoyens ainsi que les bureaux de l'équipe municipale et des agents municipaux.

4.4 Chauffage urbain

La section 4.2.3 a montré que le chauffage à Saint-Quentin est essentiellement assuré par le gaz, suivi par l'énergie électrique et le réseau de chaleur urbain. Le chauffage est individuel pour 86 % des bâtiments, collectif pour 12 % et mixte pour 2 %.

Pour cela, nous porterons l'analyse sur le type de chauffage (individuel, collectif ou mixte) et le mode de production de la chaleur (gaz, électricité, réseau de chaleur urbain ou mixte).

La figure 4-21 montre la matrice de corrélation entre l'énergie primaire, les émissions de CO₂, le type de chauffage, et le mode de production de la chaleur. On note l'absence de corrélation entre l'énergie consommée, le type de chauffage et l'énergie utilisée pour ce dernier. On a le même constat pour les émissions de CO₂. Nous vérifions néanmoins que le réseau de chaleur urbain fournit, chauffe essentiellement les bâtiments ayant un chauffage collectif (avec un coefficient de corrélation de 0.89).

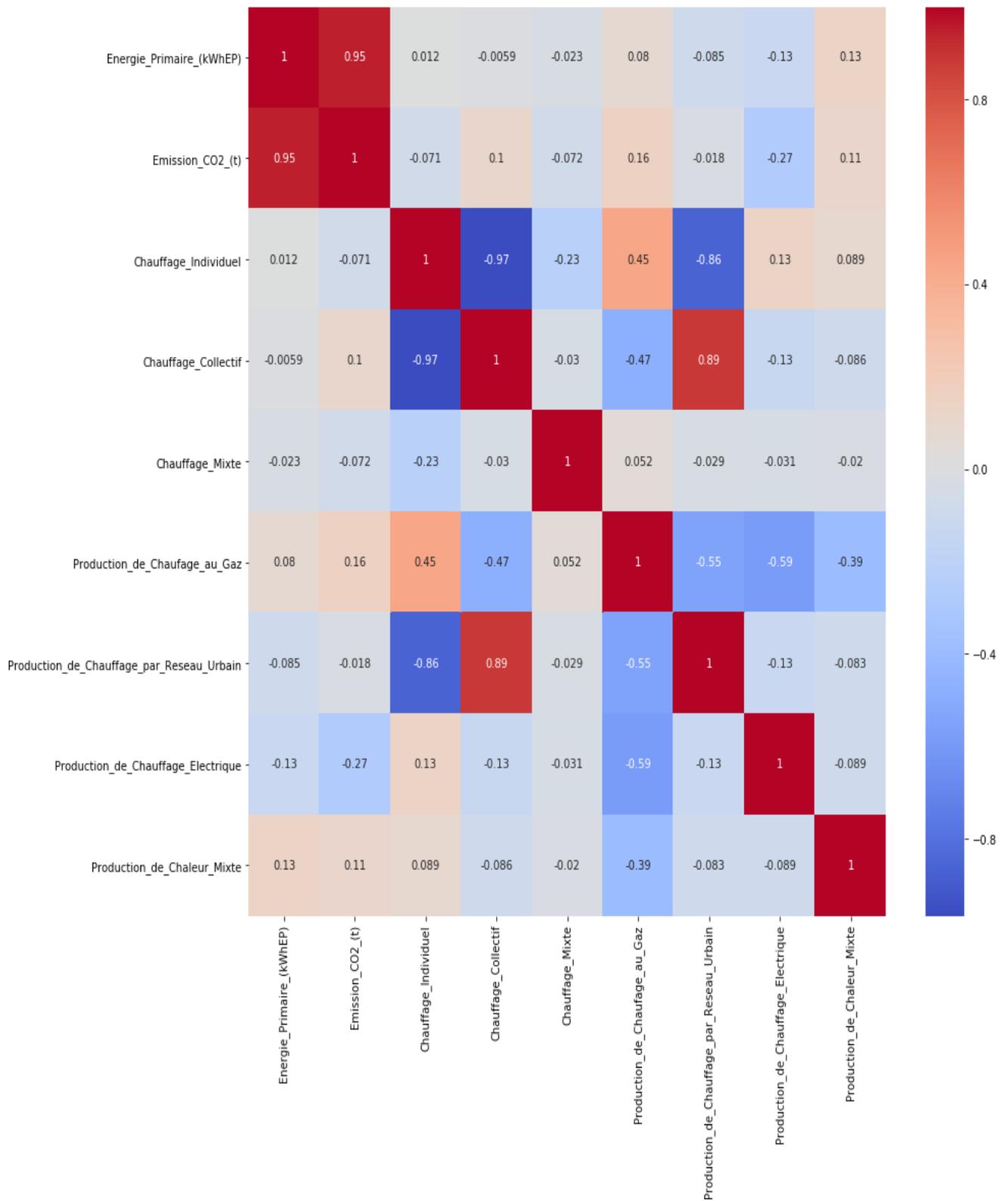


Figure 4-21 : Matrice de corrélation entre les différents types de chauffage, les sources de production de la chaleur, l'EP et les émissions de CO₂

Pour approfondir notre analyse, nous reportons la répartition des émissions de CO₂, de l'EP consommée et du type de chauffage utilisé pour les bâtiments sociaux dans la figure 4-22. Nous avons fait de même pour le type d'énergie utilisée dans la production de la chaleur, (figure 4-23). Remarque, il ne s'agit pas ici d'une quelconque évolution, nous avons tracé les courbes en pointillé, pour signifier qu'il n'y a pas de relation entre les bâtiments. Le recours à une courbe pleine permet de mieux visualiser le comportement de chaque type de chauffage ou d'énergie pour la production de chauffage.

Nous avons vu précédemment que lorsque la quantité d'énergie consommée augmente, les émissions de CO₂ suivent également. Nous remarquons que le type de chauffage ne modifie pas cette règle. La figure 4-22 montre que pour les bâtiments sociaux, lorsque l'énergie consommée augmente, les émissions de CO₂ augmentent également. Exception faites pour 2 bâtiments, qui ont vu leur système de chauffage électrique remplacé 2 années auparavant. Nous pouvons dire que le type de chauffage, qu'il soit individuel ou collectif, cela est équivalent en terme d'empreinte écologique et d'émissions de CO₂.

En revanche, s'agissant de l'énergie utilisée dans la production de la chaleur, nous remarquons que le recours à l'énergie électrique comme source de production de la chaleur, produit moins de CO₂.

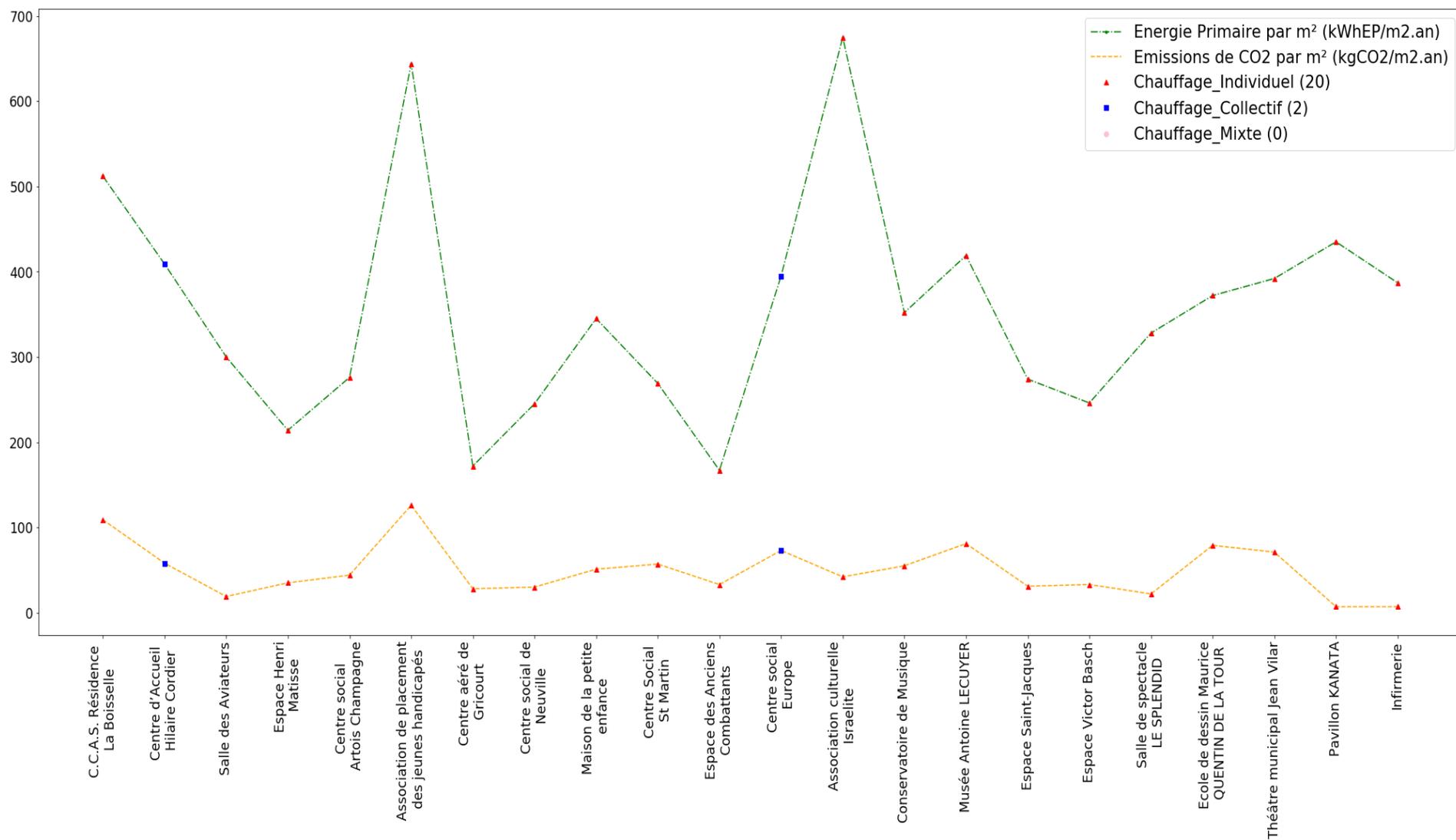


Figure 4-22 : Répartition des émissions de CO2, de l'EP consommée et du type de chauffage utilisé pour les bâtiments sociaux

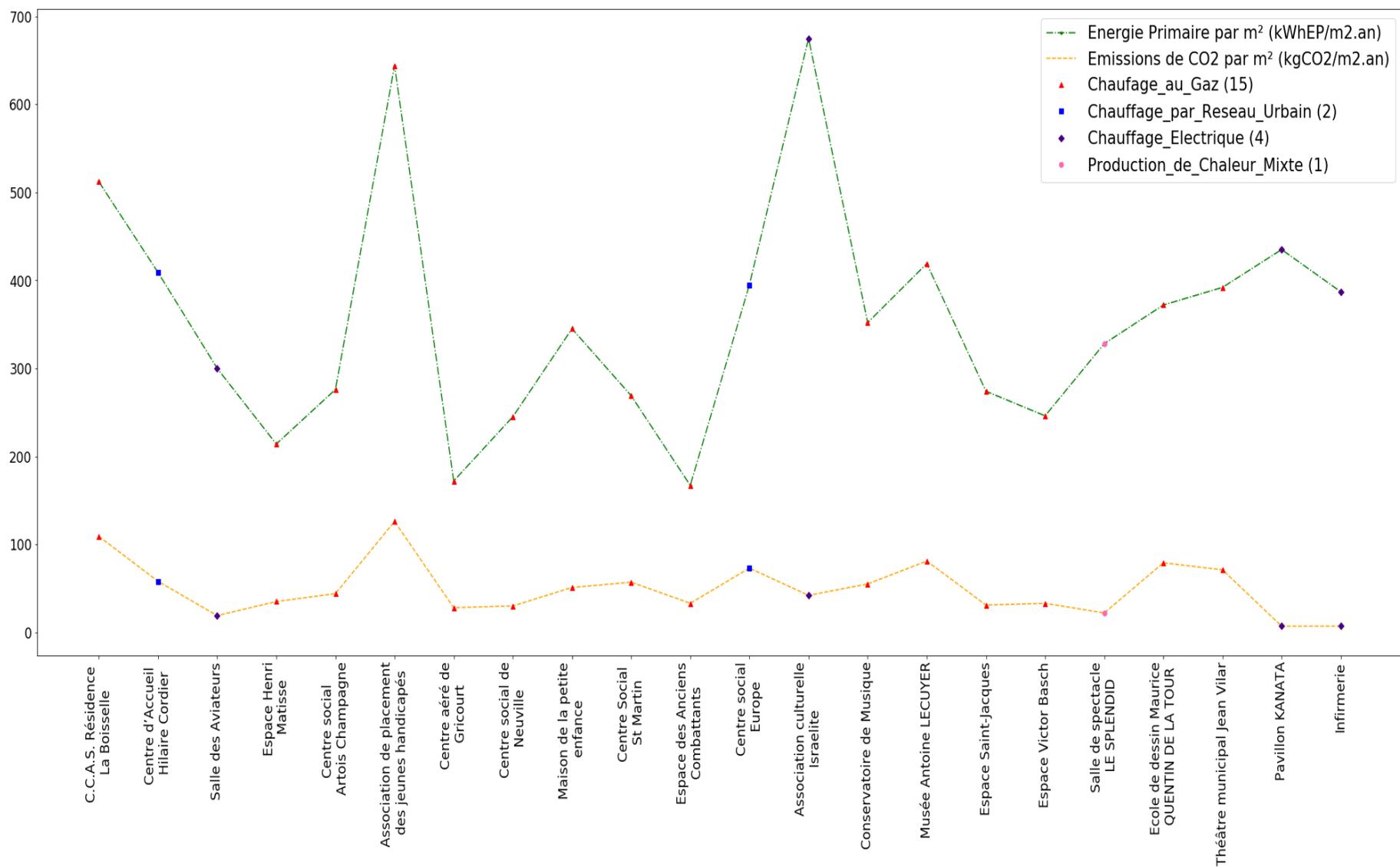


Figure 4-23 : Répartition des émissions de CO2, de l'EP consommée et du type d'énergie nécessaire à la production de la chaleur pour les bâtiments sociaux

4.5 Age des bâtiments

Nous disposons seulement de l'âge de 76 bâtiments. Là encore, nous nous sommes intéressés à l'impact de l'âge des bâtiments sur la consommation énergétique (Figure 4-24) et les émissions de CO₂ (Figure 4-25). Ces figures montrent que l'âge des bâtiments n'a d'impact ni sur la consommation d'énergie, ni sur les émissions CO₂. En effet, nous pouvons voir que le bâtiment le plus énergivore et le plus polluant n'est même pas âgé de 45 ans, alors que le bâtiment le plus ancien (visiblement bien entretenu), consomme et pollue moins que la moyenne de des bâtiments municipaux.

Il convient de signaler que les bâtiments les plus anciens, ayant survécus à la seconde guerre mondiale, sont classés patrimoine de la ville. Ils ont également fait l'objet de plusieurs rénovations en vue d'augmenter l'efficacité énergétique de ces derniers.

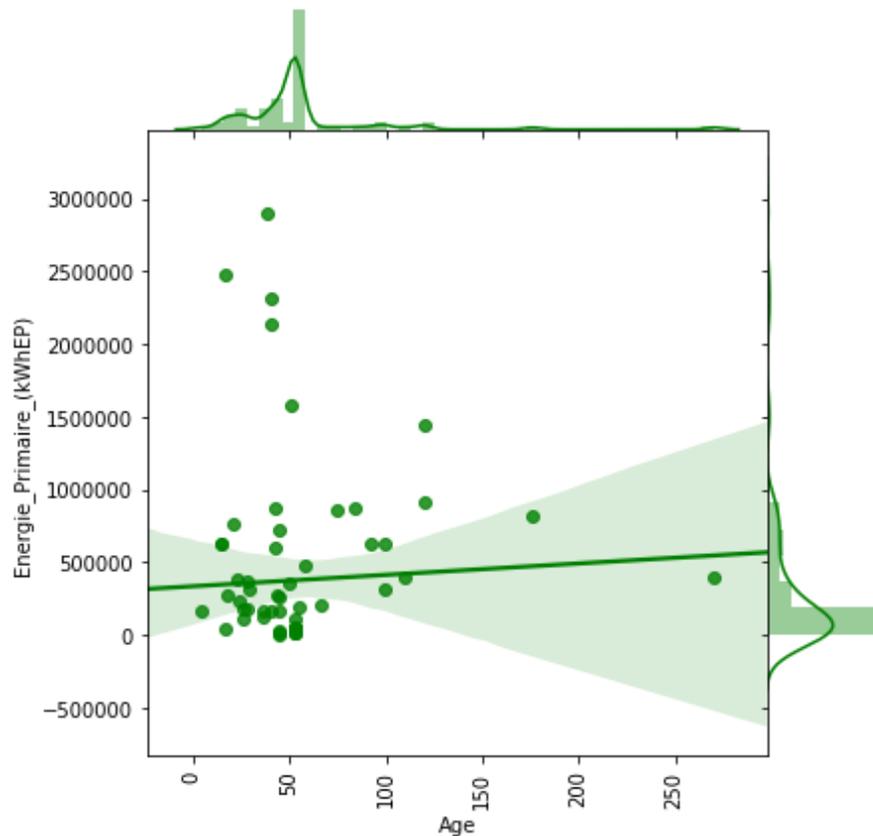


Figure 4-24 : Distribution de l'EP consommée en fonction de l'âge des bâtiments

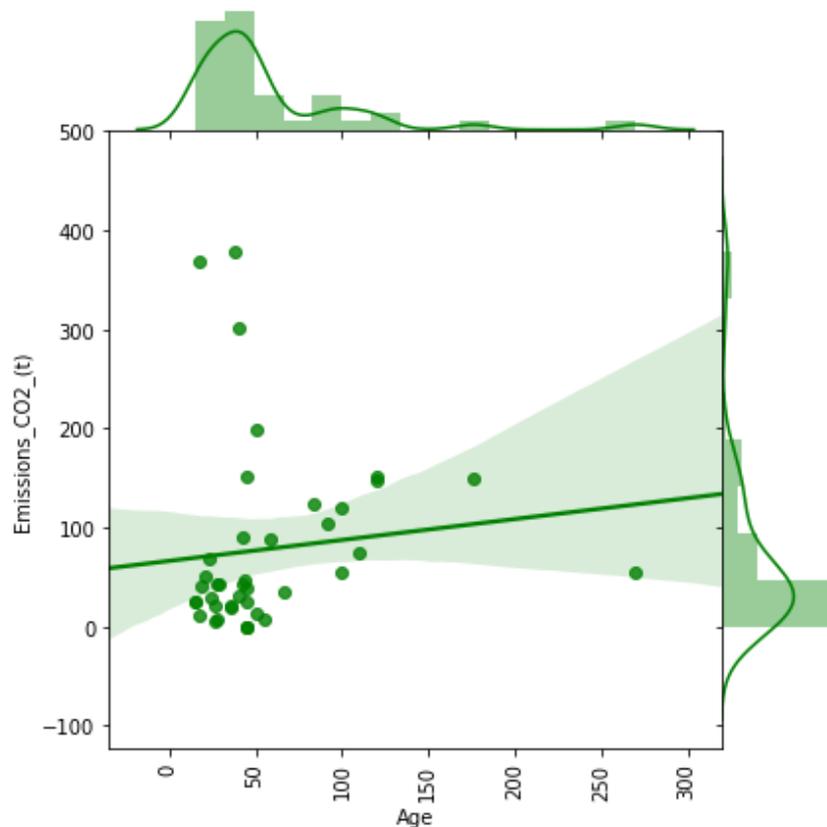


Figure 4-25 : Distribution des émissions de CO₂ en fonction de l'âge des bâtiments

4.6 Conclusion

Dans ce chapitre, nous avons présenté le parc des bâtiments municipaux de la ville de Saint-Quentin. Nous avons catégorisé les bâtiments en fonction de leur usage, et nous avons analysé les consommations d'énergie ainsi que les émissions de CO₂ qui en résultent.

L'analyse de ces données et de ces paramètres a montré que les bâtiments municipaux nécessitent un soin particulier. En effet, il ne suffit pas seulement de prendre en compte l'usage des bâtiments. Le taux d'occupation et le comportement des usagers sont des paramètres tout aussi importants à prendre en compte.

Nous avons aussi démontré que l'âge des bâtiments n'avait pas d'impact direct sur la consommation d'énergie et les émissions de CO₂.

Dans le chapitre qui suit, nous verrons le rôle que peuvent jouer les nouvelles technologies dans la gestion du parc des bâtiments municipaux de Saint Quentin.

5 Chapitre V : Bâtiment municipaux intelligents: projets pilotes

5.1 Introduction

Le présent chapitre présente les travaux réalisés pour la transformation intelligente des bâtiments municipaux de la ville de Saint-Quentin. Cette transformation a pour but d'améliorer la qualité de vie des occupants, d'améliorer la qualité des services rendus aux usagers et de réaliser des économies de fonctionnement.

Deux sites d'expérimentation pilotes ont été mis à notre disposition :

- Une salle de concerts et de spectacles
- Une école (élémentaire et primaire)

Ce chapitre présente d'abord la méthodologie élaborée pour le modèle " Bâtiment municipal intelligent ". Ensuite, il décrit le déploiement de ce concept ainsi que les résultats obtenus pour les deux sites pilotes précités.

5.2 Méthodologie

5.2.1 Concept bâtiment municipal intelligent

Nous avons effectué une recherche bibliographique en utilisant les mots clés : smart et municipal building. Sur la période 2010-2020, seuls 92 articles scientifiques ont été trouvés. La figure 5-1 représente les domaines de recherches ayant abordé la question du bâtiment municipal intelligent avec le nombre de papiers.



Figure 5-1: Domaines de recherche s'intéressant au smart municipal building (Source : Web of Science)

5.2.2 Instrumentation

Notre modèle repose sur un suivi, en temps réel, des 3 paramètres suivants :

1 - Les Paramètres de confort :

- Température
- Humidité
- Luminosité
- Bruit
- Qualité de l'air intérieur (CO₂)

2 - Les paramètres de sécurité

- La présence / l'intrusion
- L'état des portes et fenêtres (ouvertes / fermées)
- Incendie

3 - Les consommations

- Consommation d'eau
- Consommation d'électricité

5.3 Bâtiment "La manufacture, salle de spectacles"

5.3.1 Présentation du bâtiment et objectifs de l'instrumentation

La Manufacture a fait l'objet d'une rénovation complète pour créer une salle de spectacle. Le projet comporte une salle modulable de 255 places assises et 500 places debout, avec une scène de 130 m², une salle de répétition, des ateliers, un foyer pour l'accueil des artistes, ainsi qu'un parvis configuré pour des activités en plein air.

L'instrumentation du bâtiment avait deux buts : le suivi des paramètres de confort et de sécurité en temps réel.

5.3.2 Système de chauffage

Le chauffage est assuré par des bouches de soufflages disposées dans toute la salle, à une hauteur de 9 m (Figure 5- 2). La température de soufflage varie entre 19 et 34 °C. La figure 5- 3 représente la variation de la température de soufflage du 15-12-2019 à 12 :00 :00 au 03-03-2020 à 14 :00 :00.



Figure 5-2: Bouche de soufflage avec un capteur de température installé à son extrémité

On remarque que la température de soufflage maximale atteint 34 °C. Nous constatons une interruption de chauffage pendant les vacances d'hiver, soit du 23 décembre 2019 au 9 janvier 2020. Nous pouvons également distinguer un comportement périodique.

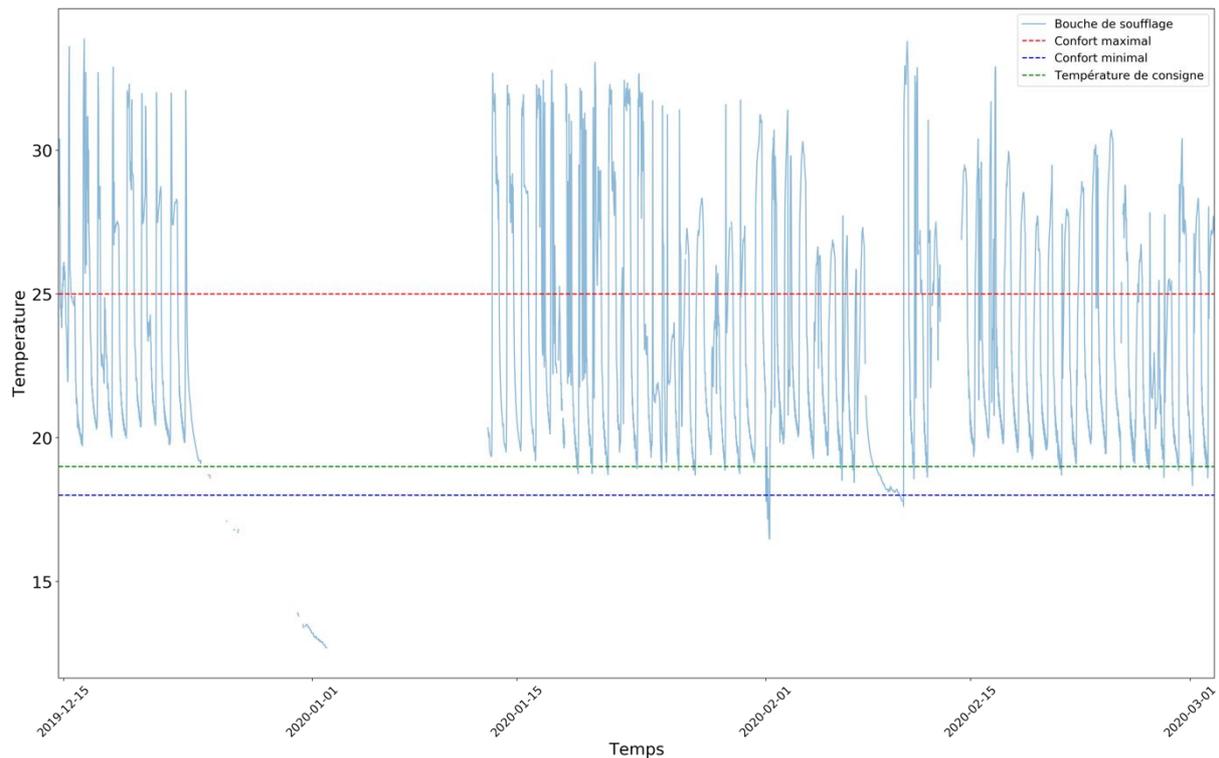


Figure 5-3: Variation de la température de soufflage du 15-12-2019 à 12 :00 :00 au 03-03-2020 à 14 :00 :00

Nous présenterons les résultats pour deux semaines. Une première semaine où la salle de concert est normalement occupée, avec au maximum 4 personnes présentes dans la salle pour des tâches ménagères ou des opérations d'entretien et de maintenance des installations sonores (figure (5-4)). Nous présentons également à la figure 5- 5, un second profil avec un concert le 27 février à partir de 20h.

On note que le système de chauffage marche en continu avec une température minimale de soufflage de 19 °C.

En période d'occupation normale, le profil de température est constant, le chauffage augmente à partir de 8h. Le pic (30 °C) est enregistré aux alentours de 13h. Nous remarquons également que le système de chauffage fonctionne différemment le weekend.

Le jour du concert, l'air chaud est insufflé le matin jusqu'à atteindre 27° C, puis diminue légèrement jusqu'à 12h. Ensuite, la température augmente de nouveau jusqu'à 25°C. Au début du concert, la température de chauffage est baissée à 19 °C.

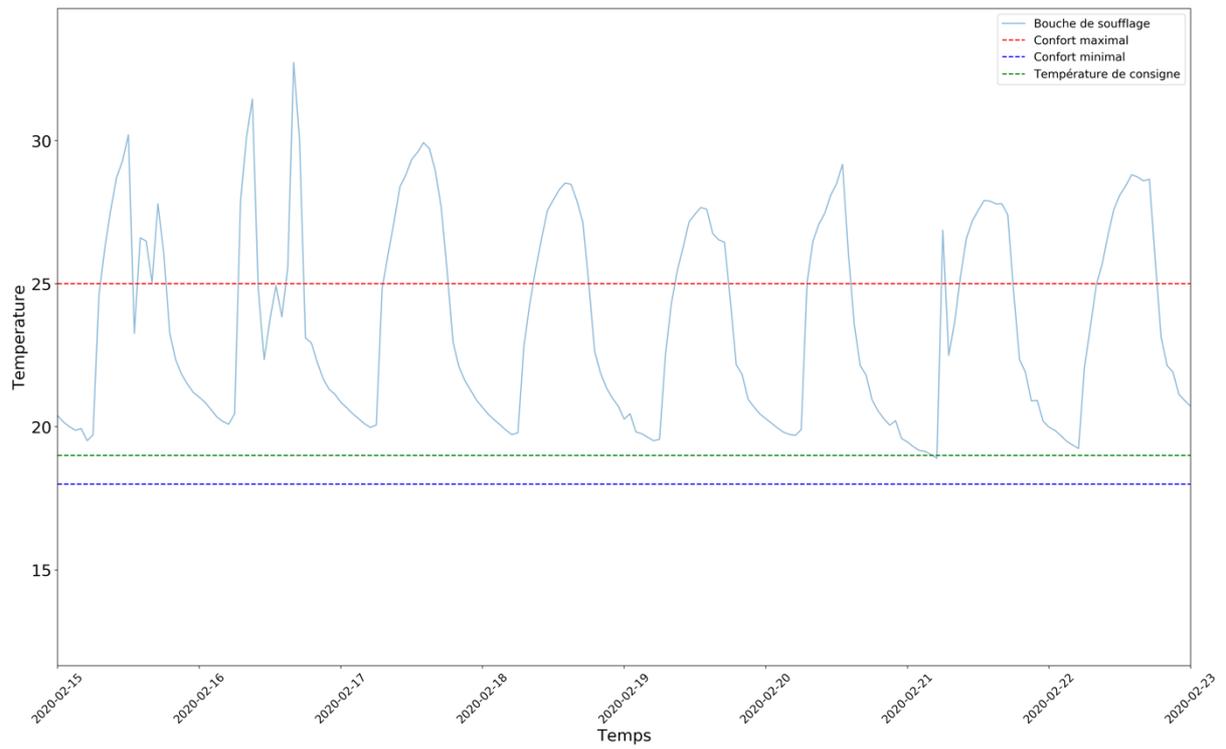


Figure 5-4: Profil hebdomadaire en période d'inoccupation, de fonctionnement normal de la salle de concert

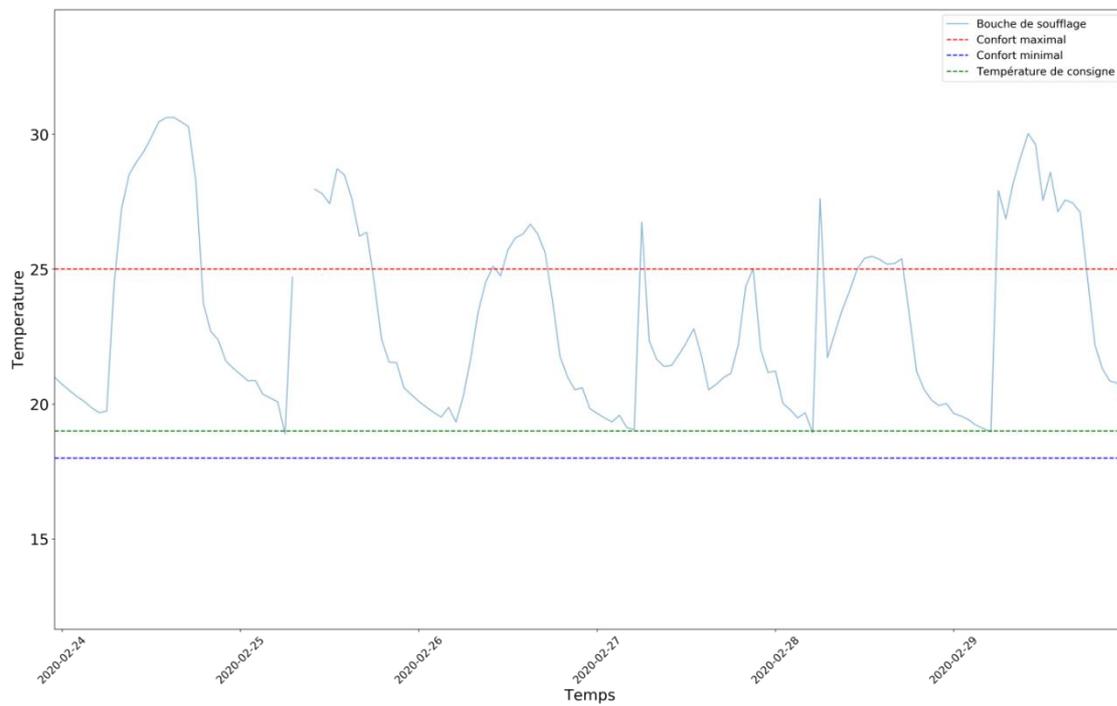


Figure 5-5: Profil de chauffage hebdomadaire, avec un concert le 27-02-2020 à partir de 20h

5.3.3 Architecture et systèmes de mesure

Étant donné que nous intervenons sur des bâtiments existants, nous sommes dans l'obligation d'utiliser une technologie de transmission des données sans fil. Celle-ci doit être robuste, à faible consommation d'énergie et à faible coût. Le système de mesure dans son ensemble a été conçu par l'équipe de recherche SunRise (Université de Lille, LGCgE). Ce système permet de :

- Suivre, en temps réel, l'évolution de plusieurs paramètres
- Stocker les données
- Visualiser l'historique en vue d'analyser les données
- Garantir la sécurité et la confidentialité

Le système de surveillance est composé de 3 parties (Aljer et al., 2017) :

- Une unité centrale
- Un réseau de capteurs sans fil
- Une interface utilisateurs conviviale

La figure 5-6 reprend l'architecture du système de surveillance. L'unité centrale assure la gestion du système de surveillance. Elle communique avec un réseau de capteurs en utilisant le protocole de radiofréquence (RF). Elle héberge un logiciel libre et ouvert pour le stockage, l'analyse et la visualisation des données. L'unité centrale se compose d'un Raspberry Pi, un petit ordinateur sans écran ni clavier, qui utilise le système d'exploitation Linux gratuit et open source. Le stockage est assuré par une carte SD. L'unité centrale offre la possibilité de créer un réseau Wi-Fi local, qui permet d'accéder aux données et informations stockées. Il ne nécessite pas de connexion Internet.

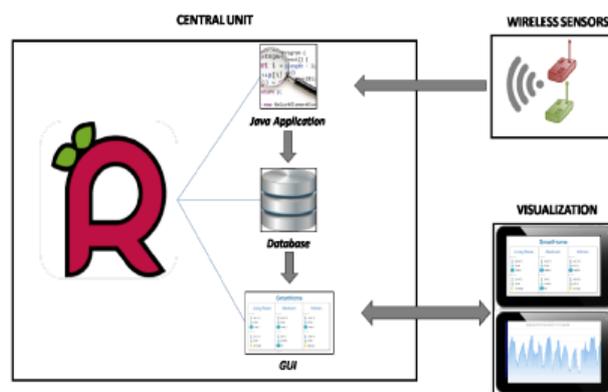


Figure 5-6 : Architecture du système de surveillance (Aljer et al., 2017)

5.3.3.1 Capteurs :

Pour chaque capteur, les paramètres de configuration et les données sont stockés dans un registre, qui est l'unité SWAP avec un identifiant unique. La mise à jour du registre peut être, soit déclenchée par un événement, soit survenir selon une fréquence qui peut être définie. Il est également possible d'inclure différentes données de capteurs dans un même registre car sa taille peut aller jusqu'à 55 octets (très faible).



Figure 5-7: Module THLN: (Capteurs de Température, Humidité, Luminosité et Bruit)

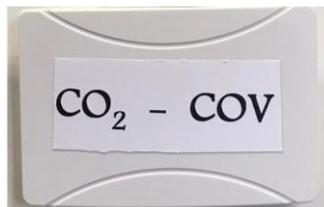


Figure 5-8: Capteur de CO2



Figure 5-9: Capteur de mouvement et de présence

Une carte électronique, intégrant plusieurs capteurs, a été développée pour collecter et transmettre plusieurs paramètres en même temps. Le regroupement en une seule carte permet de réduire la consommation énergétique. Ainsi, la consommation d'énergie est de 1 uA au repos et 2.5 mA en transmission. L'humidité relative et la température sont mesurées en

utilisant des capteurs SI7021. La température est mesurée avec une plage de mesure de $[- 10^{\circ}$ à $85^{\circ}\text{C}]$ et une précision de 0.4 %, tandis que l'humidité relative est mesurée avec une plage de mesure de $[0$ à $80 \text{ \%}]$ et une précision de 3 %.

5.3.3.2 Protocole de transmission

Le Raspberry-Pi est équipé d'une carte sans fil PanStamp pour suivre les paquets SWAP entrants. La transmission des données est assurée par ce module PanStamp Wireless. Ce dernier utilise le protocole open source SWAP (Simple Wireless Abstract Protocol). Dans notre cas, il utilise les bandes de fréquences ISM (industrielles, scientifiques et médicales) libres de 868 MHz. Il fonctionne dans une zone ouverte d'environ 200 mètres.

Une pile logicielle SWAP assure la réception et l'analyse des paquets SWAP entrants, leur transmission, la gestion des registres, l'envoi des données mises à jour et la gestion de l'alimentation.

Une trame SWAP comprend les adresses des dispositifs de destination et de source, les options de sécurité, la fonction du paquet, l'adresse et l'identifiant du registre et enfin la valeur du registre qui est la charge utile.

5.3.3.3 Base de données BDD

Le flux de données est géré par MySQL, un système de gestion de bases de données relationnelles (SGBDR) open source. Chaque capteur se voit attribuer une adresse unique, qui est enregistrée dans la base de données (BDD), avec les détails exacts de son emplacement et la date de son installation. La conception de la base de données permet de relier aisément les adresses physiques des différents capteurs avec leurs valeurs sémantiques et de référencer les valeurs dynamiques en fonction du temps (Aljer et al., 2017).

Une application Java suit les paquets SWAP entrants reçus par le module sans fil PanStamp, branché sur le Raspberry Pi. L'application vérifie, pour chaque trame, que le périphérique source est bien enregistré dans la BDD. Ensuite, chaque type de valeur de cette carte est stocké dans la table de la base de données d'historique qui contient toutes les valeurs des capteurs du bâtiment. Les données sont stockées dans une base de données locale, accessible uniquement par les gestionnaires du bâtiment concerné. Ils ont la possibilité de fournir des accès aux données à d'autres utilisateurs.

5.3.3.4 Interface et Visualisation :

L'unité centrale contient un serveur Web Apache (Apache http Server), qui permet aux utilisateurs d'accéder aux données en temps réel et à l'historique des données via une interface Web. Cette interface Web est implémentée en HTML, CSS et JavaScript avec les bibliothèques Bootstrap et Highcharts pour permettre la conception de graphiques interactifs (figure 5-10). Pour plus d'accessibilité, cette interface est accessible via un réseau Wi-Fi local à l'aide de smartphones, tablettes et Smart TV.

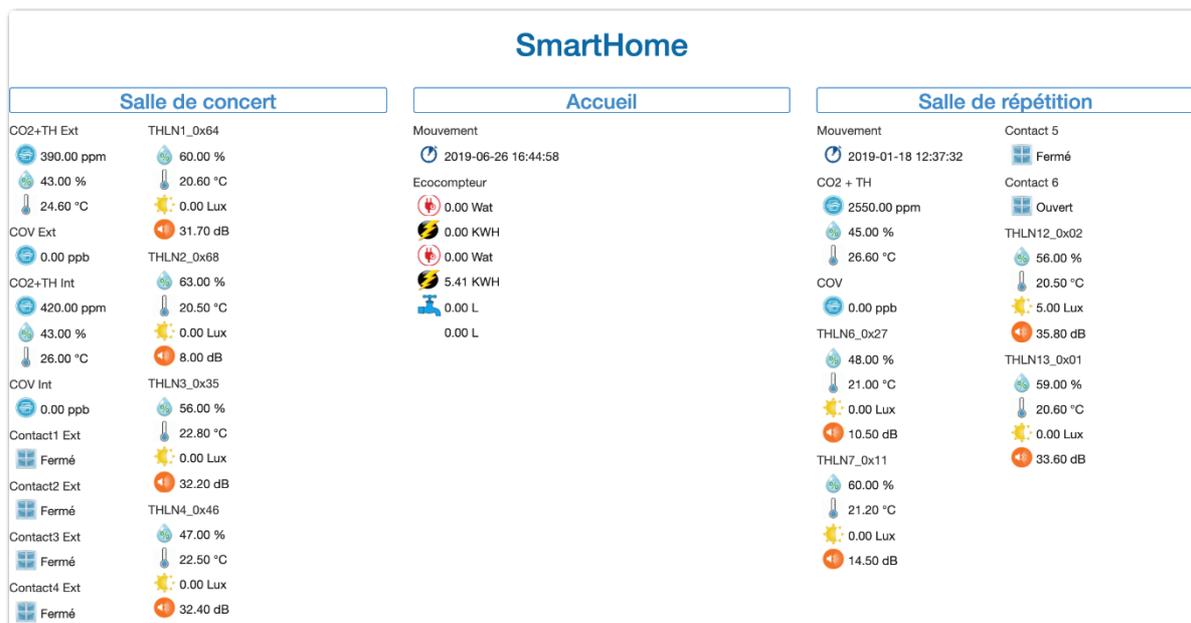


Figure 5-10: Interface de visualisation

5.3.4 Instrumentation du bâtiment

Nous avons installé les capteurs suivants :

Pour les paramètres de confort :

- 10 capteurs de températures,
- 10 capteurs d'humidité,
- 2 capteurs de CO2,
- 5 capteurs de bruit,
- 10 capteurs de luminosité.

Pour les paramètres de sécurité, une attention particulière a été apportée à la grande salle. En effet, les portes extérieures du bâtiment sont équipées d'un système d'alarme. Pour compléter leur dispositif, nous avons installé :

- 3 capteurs de contact
- 1 capteur de présence

La figure 5- 11 montre le plan 2D du bâtiment avec l'ensemble des capteurs installés. L'observation a duré 12 mois. Des coupures, d'origines diverses, ont eu lieu. Dans certains cas, des éléments servant à la transmission étaient endommagés, dans d'autres cas, les capteurs installés près de l'espace scénique étaient débranchés.

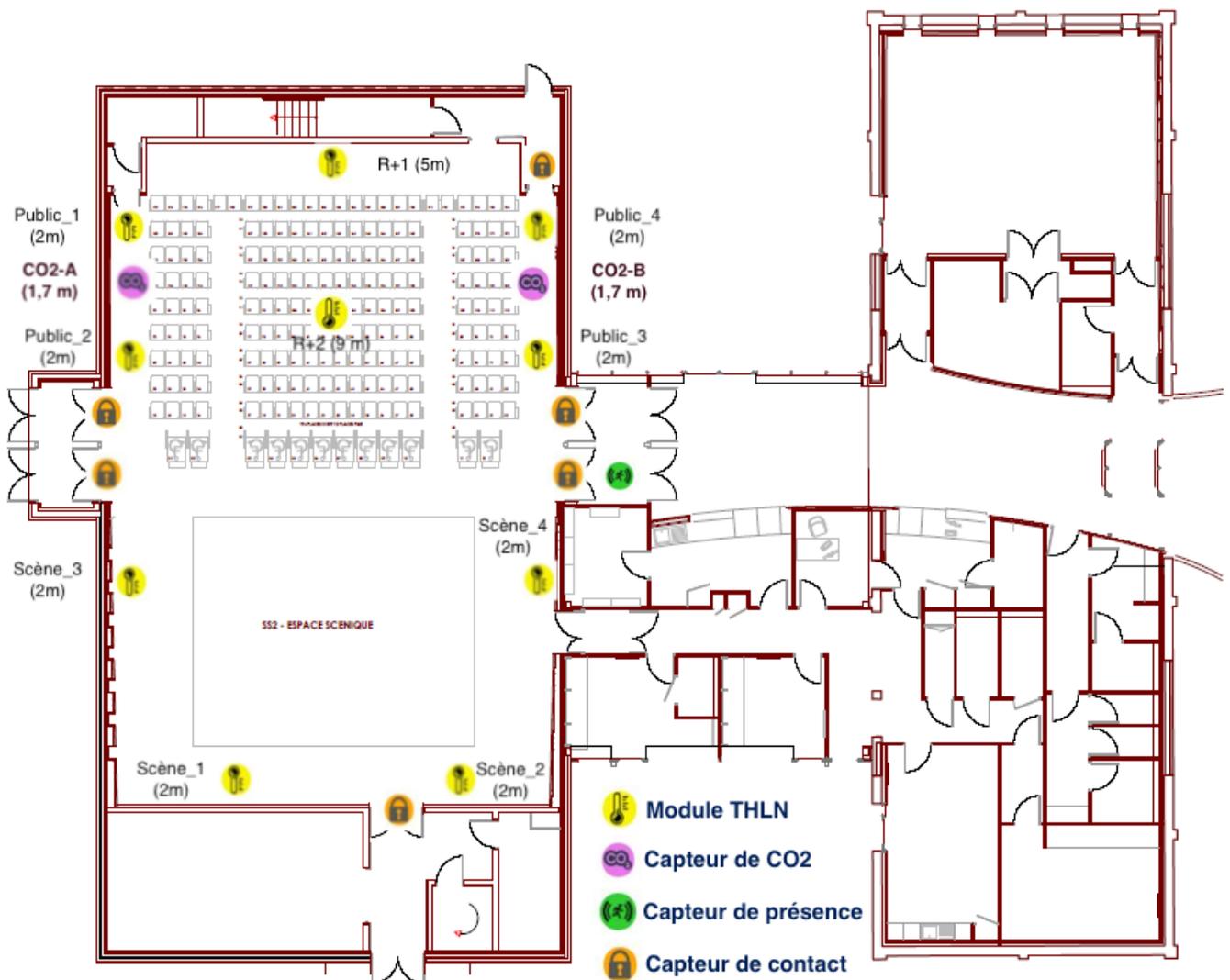


Figure 5-11: Plan 2D du bâtiment instrumenté

5.3.5 Modèle BIM

Le modèle BIM a été construit à partir des plans 2D AutoCad. Nous avons utilisé pour cela le logiciel Revit. Certains éléments de hauteur ont été relevés lors des visites. La figure 5-12 montre le modèle BIM construit. Le modèle intègre également le plan des capteurs du bâtiment (Figure 5- 13). Faute de données, nous n'avons donc pas pu modéliser les réseaux d'eaux, d'électricité et de ventilation.

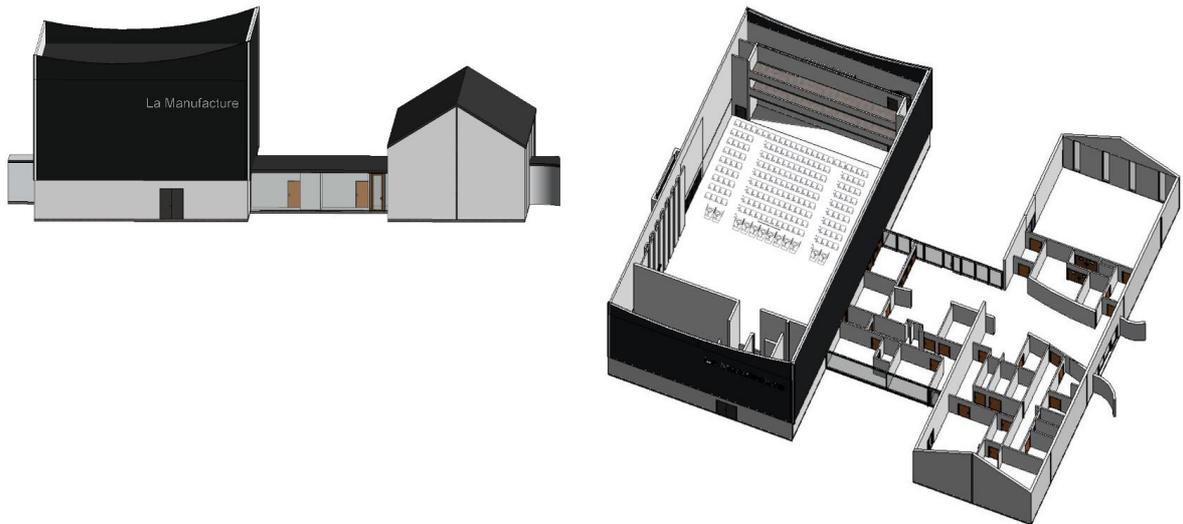


Figure 5-12: Capture du modèle BIM

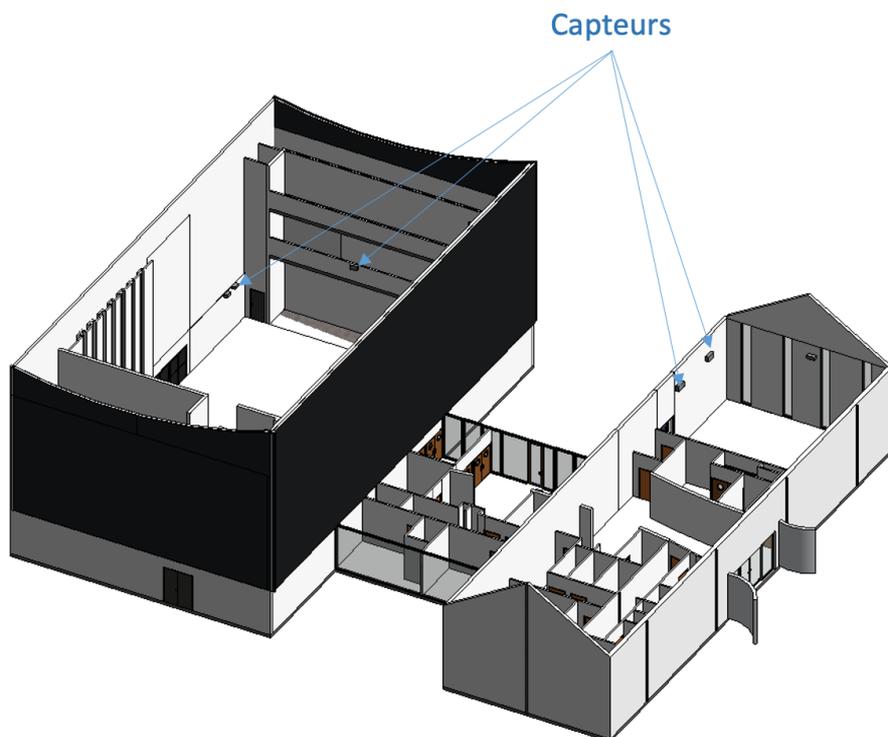


Figure 5-13: Représentation 3D avec l'emplacement de certains capteurs

5.3.6 Analyse des paramètres de confort

Nous présenterons les données enregistrées pendant la période du 15-11-2019 à 16 :00 :00 au 03-03-2020 à 14 :00 :00. Il sera également question d'analyser et de caractériser les différentes ambiances intérieures, en fonction de trois paramètres:

- La température,
- L'humidité relative,
- Le taux de CO2.

5.3.6.1 Qualité de l'air (CO2)

L'ANSES considère que la qualité de l'air est excellente lorsque la concentration en CO2 est inférieure à 400 ppm. Elle la considère bonne lorsque la valeur est inférieure à 600 ppm. Elle est cependant mauvaise lorsque la concentration de CO2 est supérieure à 1000 ppm pour des conditions normales d'occupation, ou à partir de 1300 ppm pour les locaux où il est interdit de fumer.

La figure 5- 14 présente le diagramme « Violin Plot » de la concentration de CO2 en ppm dans la salle sur la durée d'observation précitée. On note que la concentration en CO2 est, le plus souvent, inférieure à 500 ppm. On note également l'existence de deux scénarios ou comportements différents quant à la qualité de l'air. Le plus souvent, la qualité est bonne. Moins fréquemment, les valeurs enregistrées sont élevées, pouvant atteindre 25000 ppm. Cela pourrait concerner les jours de concert, jours d'occupation inhabituelle de la salle.

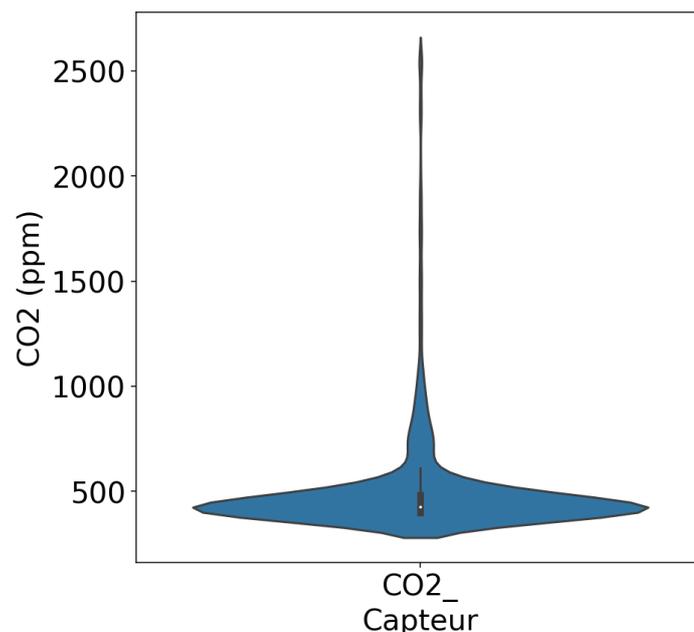


Figure 5-14: Représentation « violin plot » de la concentration en CO2 dans la salle.

La figure 5-15 présente la variation de la concentration de CO₂. Nous confirmons les déductions faites du précédent diagramme. On observe la présence de plusieurs pics, d'intensités différentes, à des dates différentes. Nous remarquons également que la concentration en CO₂ fut très faible durant les vacances d'hiver. Nous avons également modélisé, à la figure 5-16, le profil hebdomadaire de la variation de la concentration de CO₂ dans la salle de concert. Nous avons sélectionné une semaine (du 23 février 2020 à 23h au 29 février 2020 à 23h), avec un concert le 27 février en présence de 307 spectateurs. Nous remarquons que durant les jours d'occupation normale (4 à 6), la qualité de l'air est bonne, mais le CO₂ augmente considérablement les jours de spectacle. La figure 5-17 modélise la variation de la concentration de CO₂ le jour du concert. On observe bien que la concentration de CO₂ commence à augmenter dès le début du concert à 20h, pour atteindre un pic à 2500 ppm une heure seulement après le début du concert.

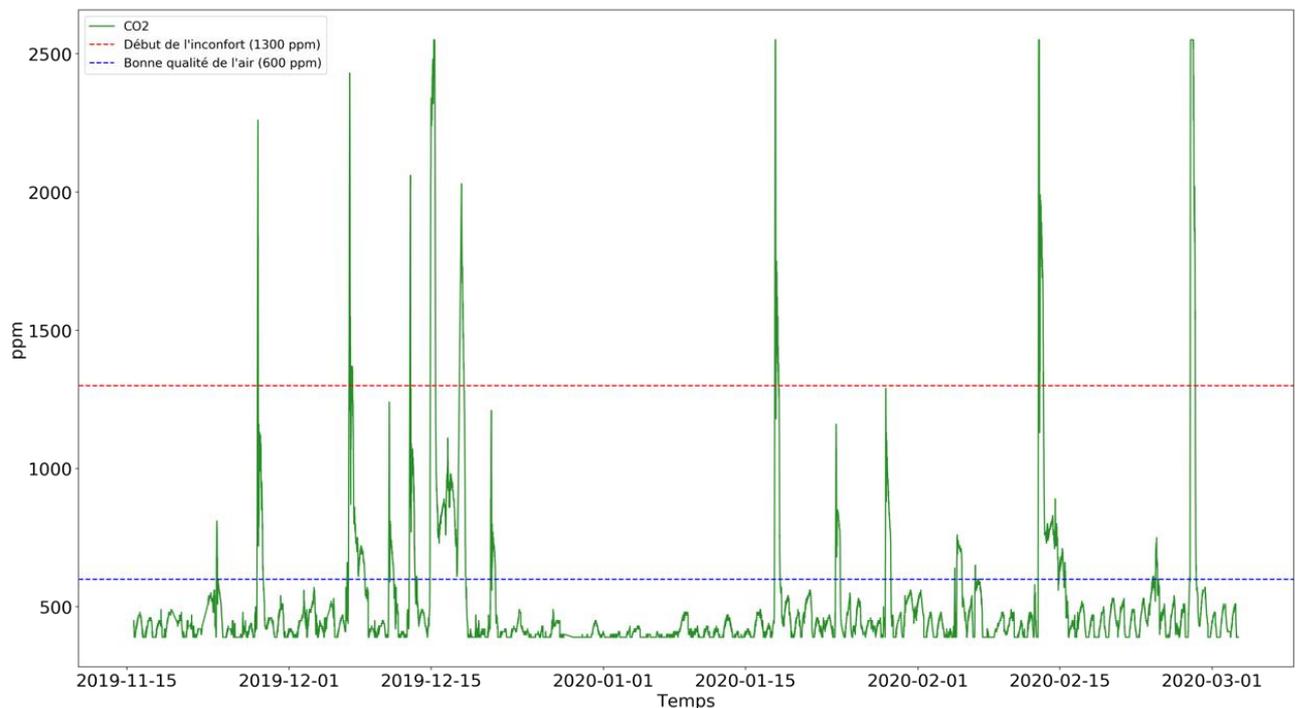


Figure 5-15: Variation de la concentration en CO₂ dans la salle de spectacle entre le 15-11-2019 à 16 :00 :00 au 03-03-2020 à 14 :00 :00.

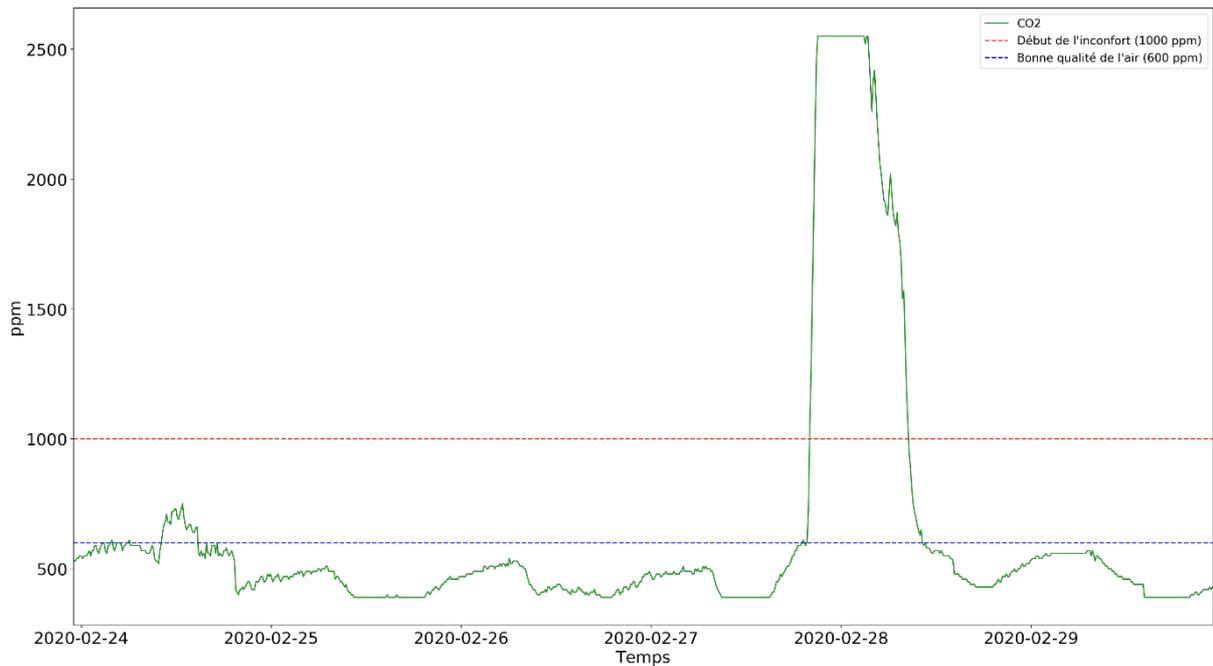


Figure 5-16: Variation hebdomadaire de la concentration de CO2 ("2020-02-23 23:00:00", "2020-02-29 23:00:00")

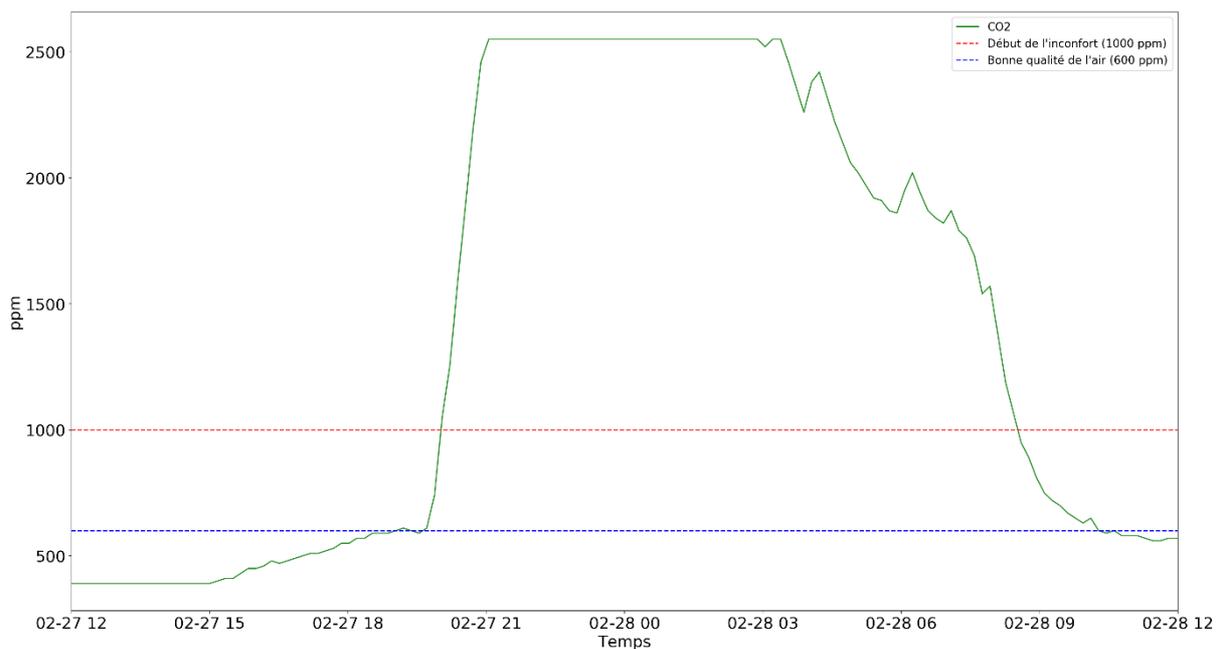


Figure 5-17: variation de la concentration de CO2 en ppm un jour du concert (307 personnes).

5.3.6.2 Température et humidité

La figure 5-18 montre la répartition de la température dans la salle. On note que la température de consigne (19 °C) est assurée la plupart du temps. Nous remarquons également que le confort thermique est respecté dans l'ensemble. L'interruption du système de chauffage lors des vacances d'hiver (du 23 décembre 2019 au 9 janvier 2020) se traduit par une diminution considérable de la température intérieure.

On note 3 profils de température dans la salle. La différence entre ces 3 profils s'explique notamment par la position et l'altitude des capteurs. Nous remarquons que les capteurs disposés à une hauteur de 2m ont pratiquement un même profil de température. Une première différence notable est observée pour le capteur installé au premier étage, à une hauteur de 5m. Le même constat est réalisé pour le capteur du deuxième étage à une hauteur de 9m. Nous mettons ainsi en évidence, que dans une pièce, la température augmente avec la hauteur (figure 5-19). Cette figure présente les diagrammes boxplot ou boîte à moustache des températures en fonction de l'emplacement. Nous vérifions bien l'influence de la hauteur sur la température. Nous remarquons également que les capteurs, installés dans l'espace scéniques, enregistrent des valeurs plus élevées que ceux installés dans l'espace réservé au public. Cela s'explique par la présence de sources émettrices de chaleur au niveau de la scène (luminaires, instruments sonores et dispositifs d'injection de fumée). Exception faite pour le capteur « Scène-4 ».

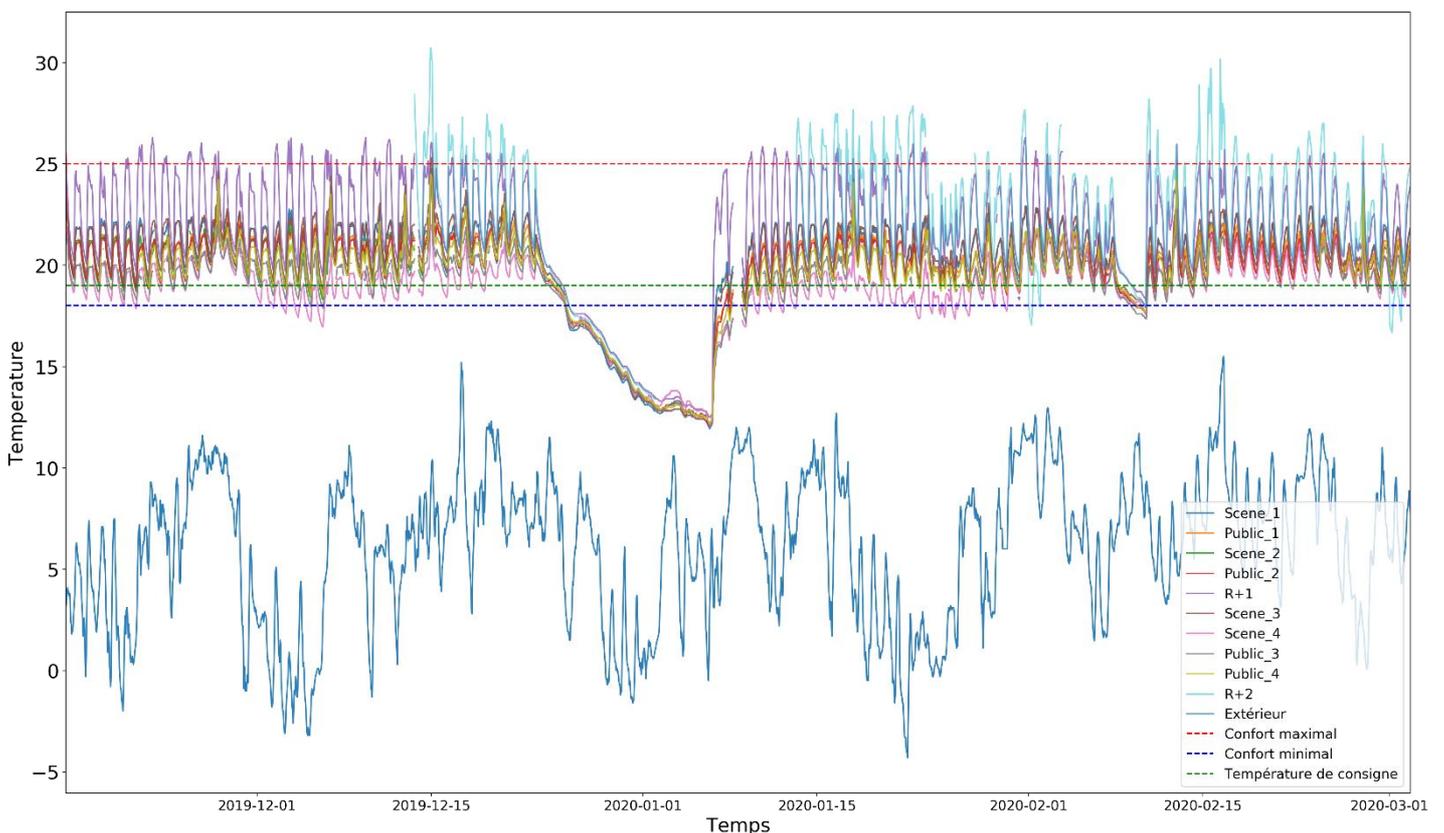


Figure 5-18: Répartition de la température en fonction des différents capteurs dans la salle

Nous avons également affiné notre modélisation à l'espace réservé au public, pour mieux comprendre le comportement thermique dans cet espace. La figure 5-20 représente les diagrammes boxplot ou boîte à moustache des capteurs de température dans cet espace. On en

déduit que les capteurs les plus proches de la scène enregistrent des valeurs plus élevées que les autres capteurs. Cette différence s'explique par l'augmentation de la concentration de spectateurs avec le rapprochement de la scène.

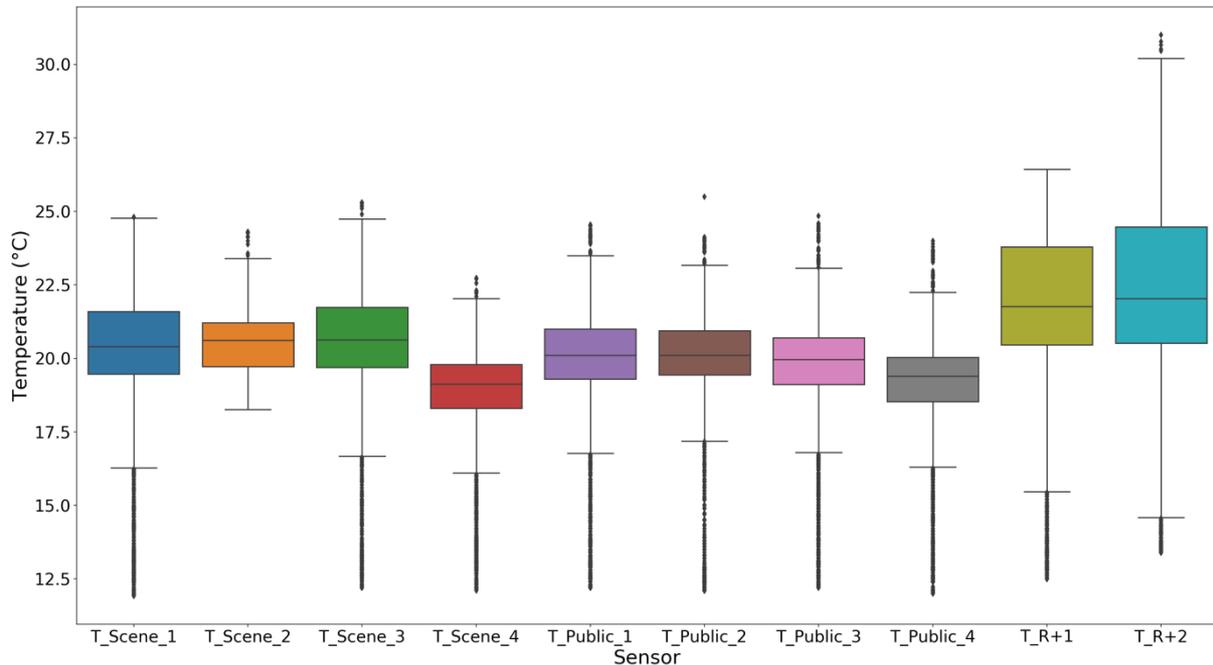


Figure 5-19: Diagrammes boxplot ou boîte à moustache des capteurs de température en fonction de leur emplacement

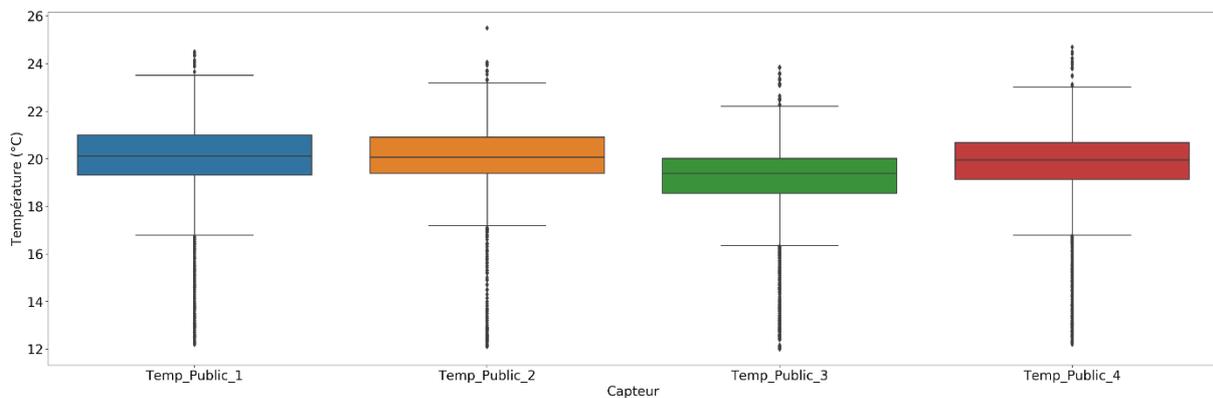


Figure 5-20: Diagrammes boxplot ou boîte à moustache des capteurs de température de l'espace réservé au public

La figure 5-21 montre la variation de l'humidité relative dans la salle de concert, ainsi que la variation de la température extérieure. Nous remarquons que les valeurs enregistrées sont comprises dans l'intervalle de confort. Nous distinguons deux types de comportement. La position et l'altitude du capteur sont à l'origine de cette différence. L'humidité diminue avec

la hauteur. Ces conclusions sont tirées de la figure 5-22, qui présente les digrammes boxplot de l'humidité relative. L'humidité dans le bâtiment est impactée par la température extérieure.

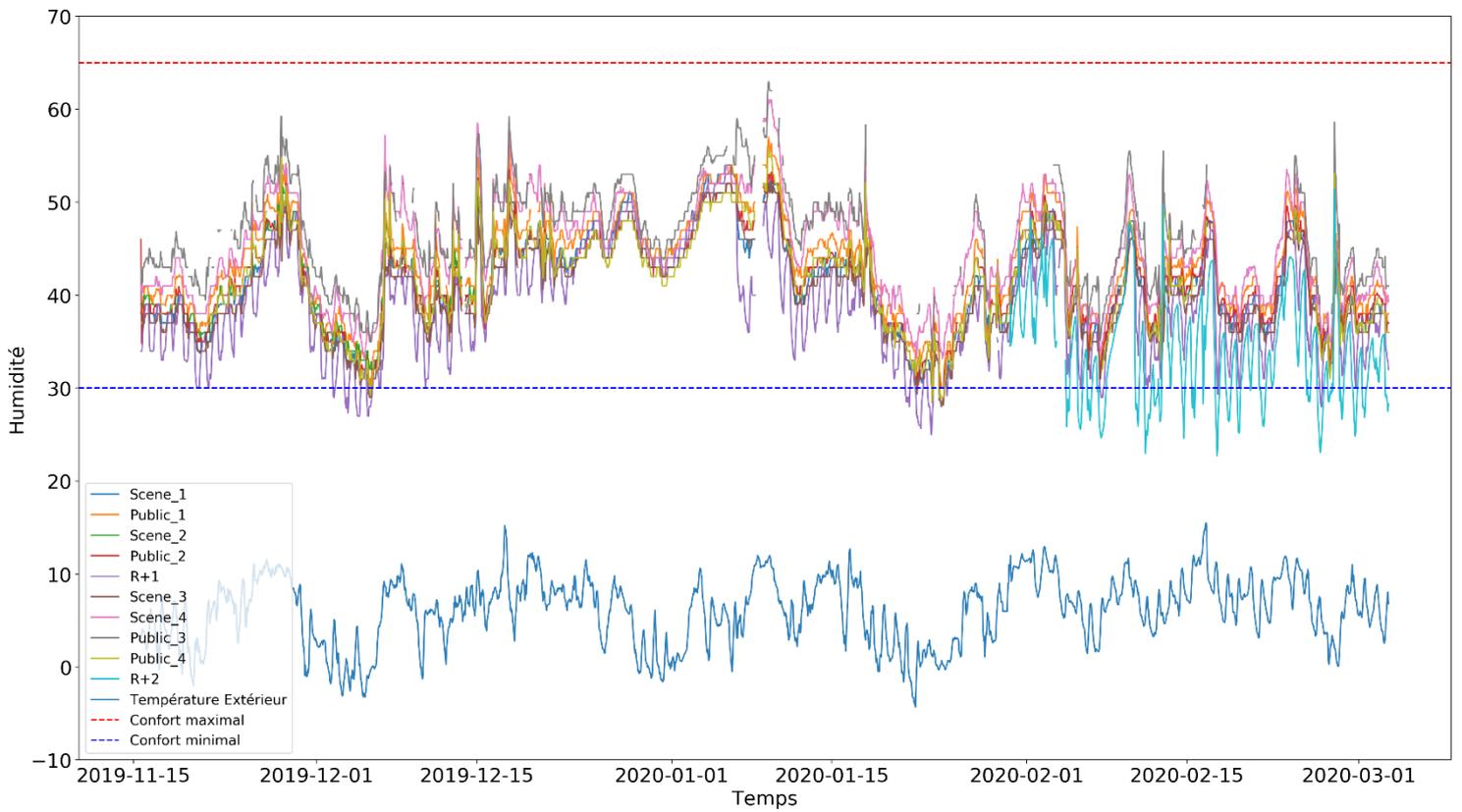


Figure 5-21: Répartition de la température en fonction des différents capteurs dans la salle

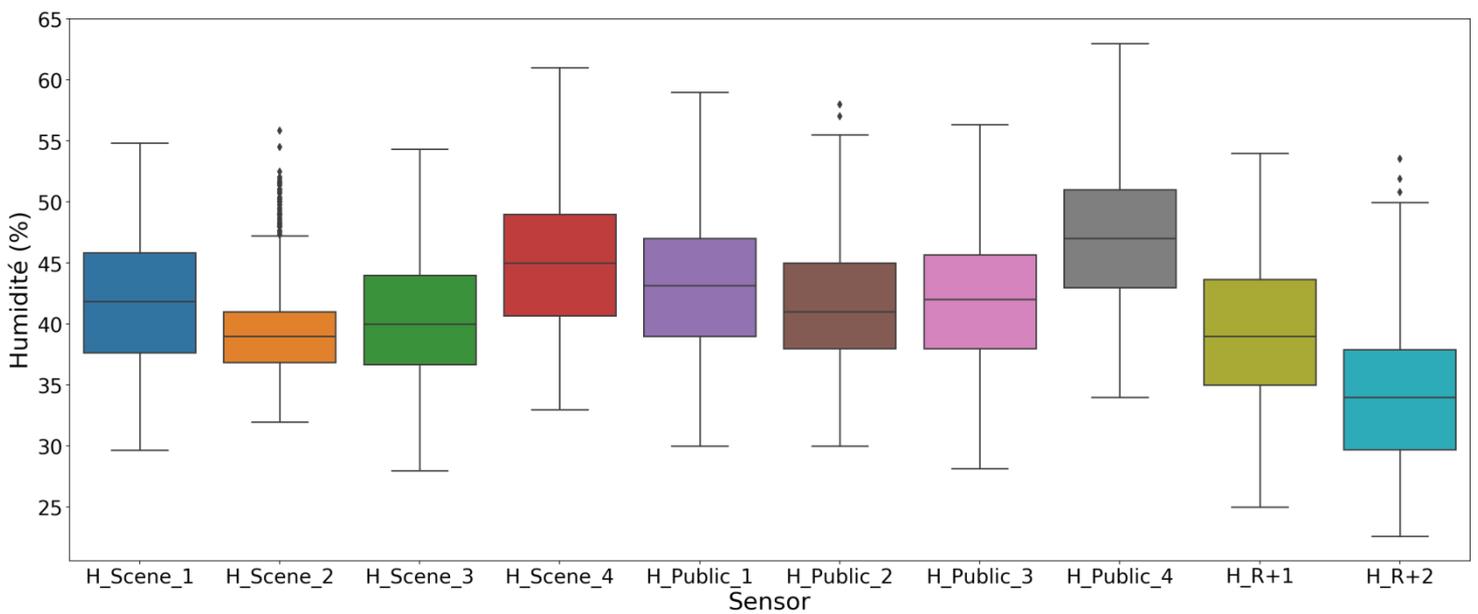


Figure 5-22: digrammes boxplot de l'humidité relative enregistrée par les différents capteurs.

La figure 5- 23 présente la variation de la température au cours de la période (du 23 février 2020 au 29 février 2020) avec le concert du 27 février. En temps normal, la température est plus élevée au niveau de la scène, à l'exception des moments de concert. Cependant, la température dans l'espace du public est plus élevée durant le spectacle. On remarque également, les jours d'occupation normale, que l'augmentation de la température dans la salle (grâce au chauffage) entraîne une diminution de l'humidité relative. À l'exception des périodes de spectacles. En effet, le profil journalier le montre bien. La présence des personnes au moment du concert (dès 20h) entraîne une augmentation de la température et de l'humidité relative à tous les niveaux.

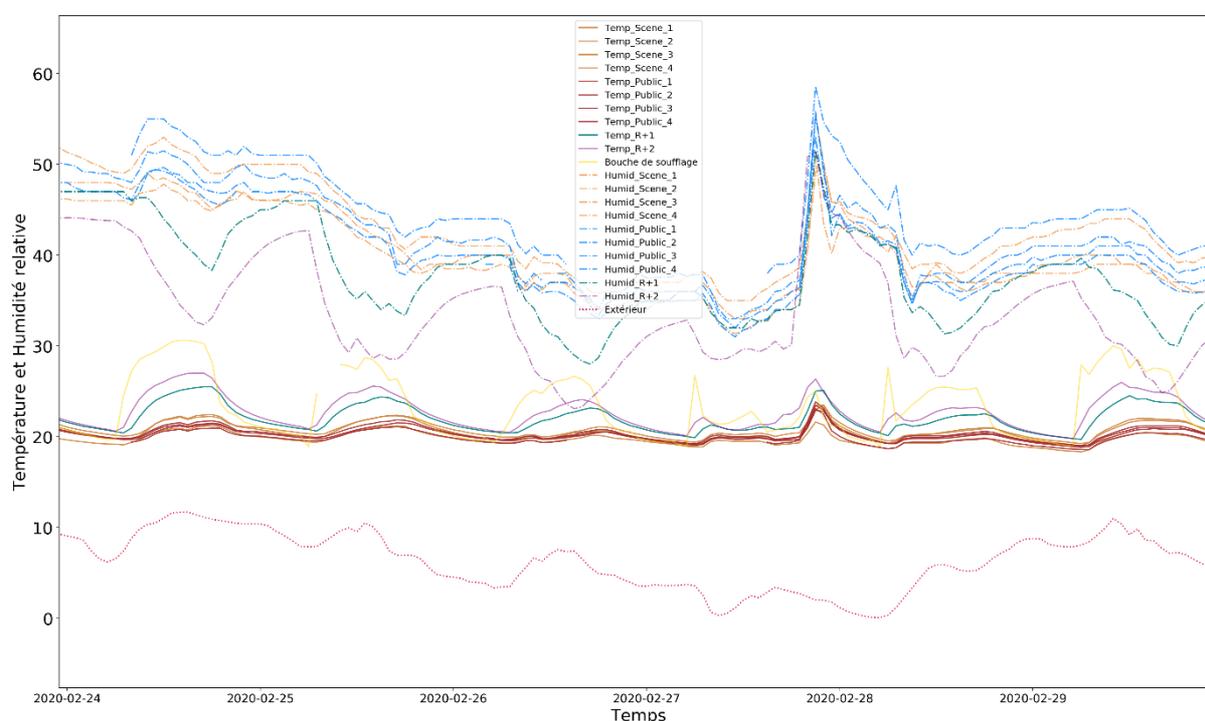


Figure 5-23: Profil hebdomadaire température- humidité hebdo (concert le 27 à 20h) "2020-02-23 23:00:00", "2020-02-29 23:00:00")

Dans la suite de nos analyses, nous allons considérer une température et une humidité relative moyenne dans l'espace réservé au public. La figure 5- 24 présente la variation de la température moyenne, de l'humidité moyenne et de la température extérieure.

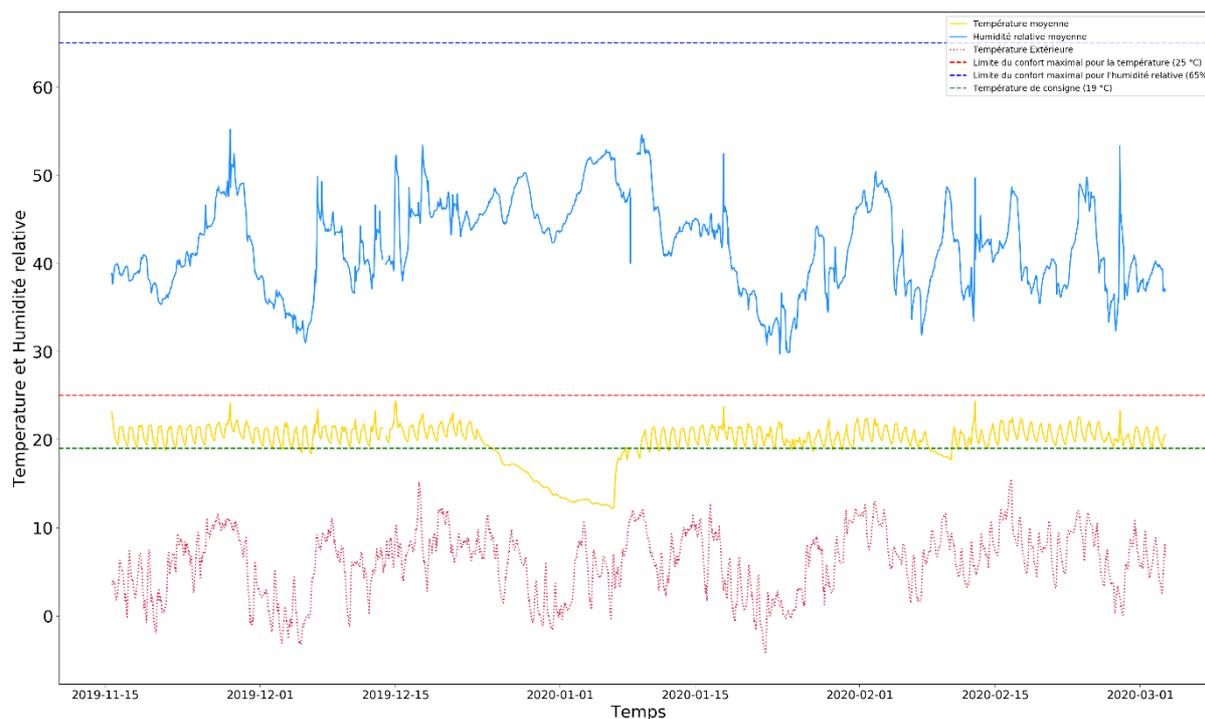


Figure 5-24: variation de la température moyenne, de l'humidité moyenne et de la température extérieure sur tout ladite période d'observation

5.3.7 Occupation de la salle

Le but de cette section est d'étudier l'impact de l'occupation de la salle sur les conditions de confort. La figure 5-25 montre les variations de la température et de l'humidité moyennes dans la salle et de la température extérieure en fonction de l'occupation (pour une meilleure représentation, nous avons divisé par 10 le nombre de personnes présentes). Nous avons également modélisé la concentration de CO₂ en fonction du nombre des personnes présentes (figure 5- 26). On remarque que les pics enregistrés correspondent bien aux jours de spectacles. Cependant, au niveau de la température et de l'humidité, nous remarquons que les valeurs de pics sont indépendantes du nombre de personnes présentes. Certains pics sont identiques pour des concerts avec 80 ou 300 personnes. (Remarque : Pour une meilleure représentation, nous avons multiplié par 7 le nombre de personnes présentes).

Toutefois, pour ce qui est de la concentration en CO₂, on constate que le nombre de personnes présentes impacte ce paramètre. Rares sont les cas où la même concentration de CO₂ est atteinte, avec une différence notable dans le nombre de personnes présentes. On peut remarquer que le nombre de personnes varie fortement, et que la capacité maximale de la salle (500 personnes) n'a pas été atteinte. À noter que pour toutes ces dates, la tribune télescopique n'a pas été installée.



Figure 5-25: Variation de la température intérieure moyenne, de l'humidité moyenne et de la température extérieure sur ladite période d'observation en fonction de l'occupation

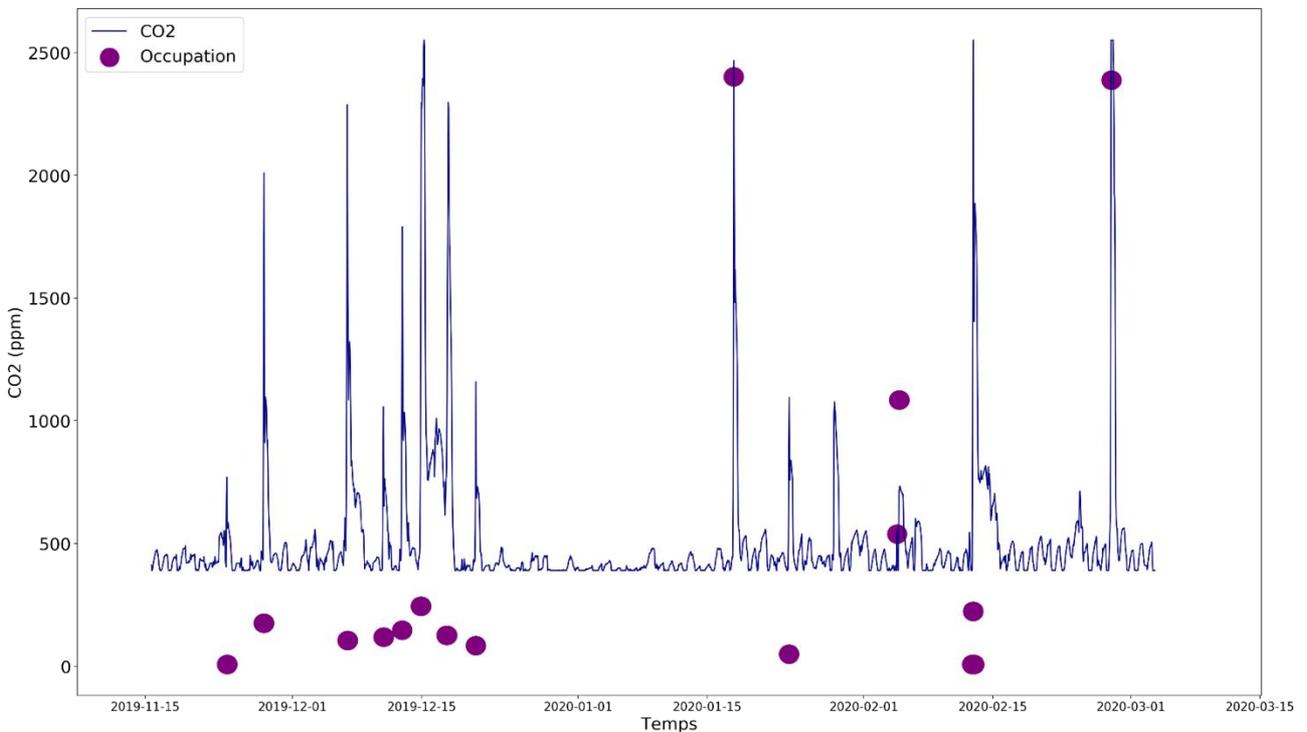


Figure 5-26: Variation de la concentration de CO2 sur toute la durée d'observation en fonction des personnes présentes

5.3.8 Gestion prédictive

Cette section présente la prédiction des paramètres de confort. Nous voulons prédire l'ambiance intérieure de la salle, à travers un apprentissage supervisé.

Il sera question de prédire la concentration maximale en CO₂, en fonction du nombre de personnes présentes. Ce travail a pour but de réguler le fonctionnement des installations techniques, en particulier la centrale de traitement et d'extraction de l'air.

La Figure 5-27 reprend la liste des bibliothèques utilisées pour la prédiction et la modélisation.

```
import numpy as np
import pandas as pd
import seaborn as sns
from matplotlib import pyplot as plt

from sklearn.linear_model import LogisticRegression
from sklearn import preprocessing
from sklearn import utils
from sklearn import linear_model
from sklearn.neighbors import KNeighborsRegressor
from sklearn.dummy import DummyRegressor
from sklearn import ensemble
from sklearn.model_selection import train_test_split
from sklearn import metrics
from sklearn.pipeline import Pipeline
```

Figure 5-27: Bibliothèques utilisées lors de la prédiction et la modélisation

Nous avons commencé par modéliser la corrélation entre les paramètres suivants :

- La température intérieure moyenne,
- L'humidité relative moyenne,
- La concentration de CO₂,
- Le nombre de personnes présentes.

Les données, dont nous disposons, sont des données quantitatives et continues. De même pour les variables que nous souhaitons prédire. Pour cela, nous utiliserons des modèles de régression. Ne sachant pas d'emblée quel modèle convient le mieux, nous utiliserons 6 modèles de régressions différents (Figure 5-28).

- Lasso
- Ridge
- Elastic
- Boost
- Forest
- Extra

```

models = [linear_model.Lasso(),
          linear_model.Ridge(),
          linear_model.ElasticNet(),
          ensemble.GradientBoostingRegressor(),
          ensemble.RandomForestRegressor(),
          ensemble.ExtraTreesRegressor()]
models_names = ['Lasso', 'Ridge', 'Elastic', 'Boost', 'Forest', 'Extra']

```

Figure 5-28: Modèles de régression utilisés

Quatre paramètres sont utilisés pour évaluer les performances des modèles :

- **R² ou Coefficient de détermination** : aussi appelé la qualité d'ajustement du modèle.
- **Mean squared Error ou Erreur quadratique moyenne** : Il s'agit de la moyenne arithmétique des carrés des écarts entre la prévision et les observations réelles. Elle doit être la plus faible possible.
- **Median absolute error ou Ecart absolu médian** : elle représente la médiane de toutes les erreurs dans l'ensemble de données. Elle doit être la plus faible possible.
- **Explained variance ou Variance expliquée** : Ce paramètre est à son tour utilisé pour mesurer l'écart entre les prévisions et un des données réelles. Il s'agit de la partie de la variance totale du modèle qui s'explique par des facteurs réellement présents et qui n'est pas due à la variance d'erreur. Sa valeur doit être la plus proche de 1.

Nous divisons nos données comme suit (Figure 5-29):

- 70 % pour l'entraînement
- 30 % pour le test

```

X_train, X_test, y_train, y_test = train_test_split(X, y, test_size = 0.3)

```

Figure 5-29: Fractionnement Apprentissage/test

La salle de concert est habituellement non occupée. En semaine, les jours de non-concert, seuls 3 techniciens y travaillent pour entretenir la salle et ses installations techniques, lumineuses, et sonores. Les jours de concert, le nombre de techniciens, travaillant avant l'occupation de la salle, peut atteindre 14 à 20 personnes au total (y compris les musiciens).

Nous allons nous intéresser à la prédiction de la concentration maximale de CO2 dans la salle, les jours de concert. Nous avons choisi ces jours-là, car l'activité humaine y est assez représentative durant toute la journée. Le reste du temps, nous savons d'emblée que la qualité de l'air est très bonne. La Figure 5-30 présente la matrice de corrélation entre les différents paramètres les jours de concert. Nous remarquons que la corrélation entre la présence et le CO2 passe de 0.38 (Figure 5-30) à 0.59. Nous remarquons également que la corrélation entre le CO2 et l'humidité et la température est assez bonne. Cela nous pousse à réaliser la prédiction du taux de CO2 de deux manières. Dans un premier lieu, nous prédirons le taux maximal de CO2 en fonction de la présence. Ensuite, nous réaliserons une seconde prédiction, en utilisant la présence, la température et l'humidité.

	Présence	Température	Humidité	CO2
Présence	1	0.26	0.24	0.59
Température	0.26	1	0.27	0.16
Humidité	0.24	0.27	1	0.47
CO2	0.59	0.16	0.47	1

Figure 5-30: Matrice de corrélation, durant les jours d'occupation de la salle.

Le modèle Random Forest a donné les meilleurs résultats avec un score final de 0.614 (Figure 5-31).

```

pipel.score(X_test, y_test)

0.6149902625765966

```

Figure 5-31: Score final pour la prédiction du CO2 en fonction de la présence

Nous présentons le descriptif de cette première prédiction à la Figure 5-32. Ces résultats sont fiables et proches de la réalité. L'erreur moyenne absolue est de 3.028 ppm, avec un écart-type de 338ppm.

```
count    7199.000000
mean      -3.028464
std       338.187802
min      -2081.222190
25%      -59.436472
50%       34.570276
75%       78.777810
max       1428.314414
Name: diff, dtype: float64
```

Figure 5-32 : Description de la prédiction de la concentration du CO2 en fonction de la présence

Ces résultats peuvent être améliorés si nous disposions de plus de données. Nous avons été amenés à augmenter le poids des lignes pour avoir un échantillon de données représentatives.

5.4 École Jean Macé

Cette section présente le travail réalisé à l'école maternelle et primaire Jean Macé.

Le bâtiment date de la fin des années 70. Il a bénéficié, au début des années 2000, d'une rénovation pour améliorer ses performances énergétiques. La configuration du bâti est sous forme de T, sur un seul niveau. Une partie est réservée à la maternelle, avec sa propre aire de jeux. De même, la partie élémentaire dispose de sa propre cour de récréation et terrains de sport. La partie centrale abrite la cantine et les sanitaires.

L'école accueille des élèves à tous les niveaux d'enseignement de la maternelle au primaire, à raison d'une classe par niveau, avec 17 élèves par classe en moyenne. Les salles de cours ont toutes une surface de 60 m², et une hauteur sous plafond de 2.5 m.

Le chauffage est essentiellement au gaz, avec la présence de quelques radiateurs électriques. La production d'eau chaude est également électrique. La ventilation quant à elle, est mécanique à double flux.

Nous avons installé une série de capteurs dans toutes les salles de cours. Le but étant de suivre les conditions de confort dans les salles de classe. Le système d'instrumentation et les données seront utilisés avec les professeurs à des fins pédagogiques.

5.4.1 Instrumentation et modèle BIM

Les figures 5-33, 3-34 et 5-35 montrent le modèle BIM de l'école.

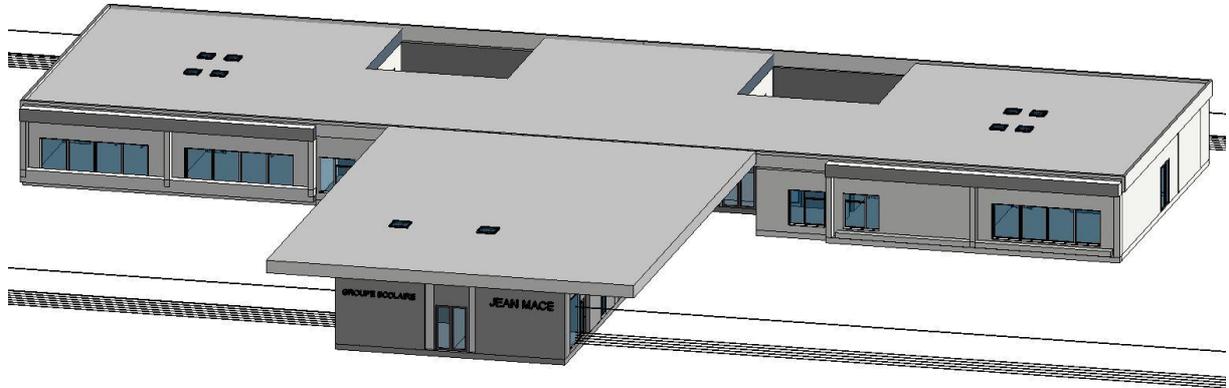


Figure 5-33: Représentation 3D globale du bâtiment

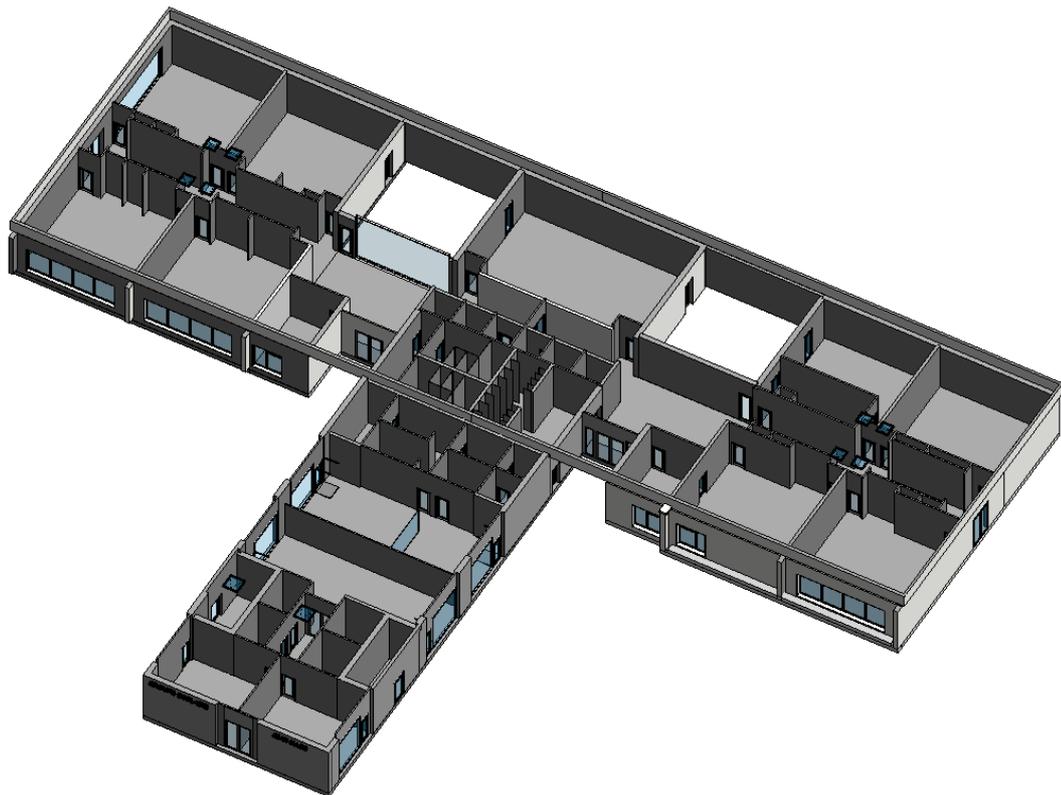


Figure 5-34: Représentation 3D de l'intérieur du bâtiment

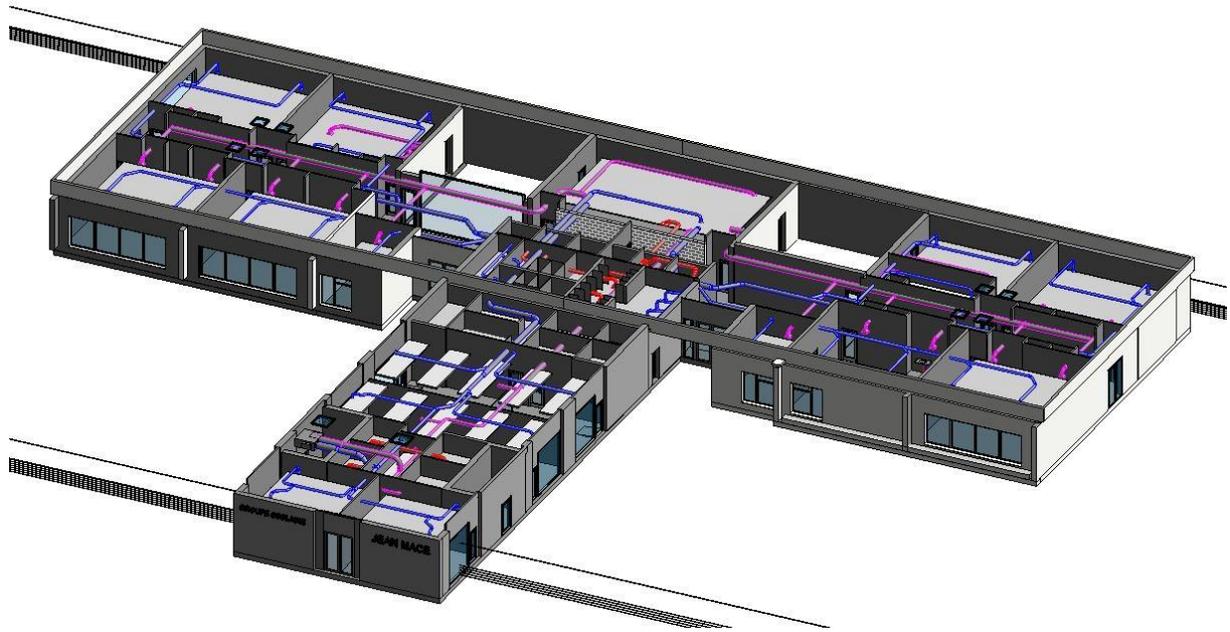


Figure 5-35: Représentation 3D du bâtiment avec les réseaux de ventilation à double flux

L'école a été équipée par le système d'instrumentation utilisé dans la salle de concert (voir partie 5.3.3). La disponibilité d'un réseau wifi nous a permis d'utiliser la Station Météo Intelligente Netatmo (figure 5-36), qui permet de suivre, en temps réel, la température, l'humidité et la concentration en CO₂. Les données sont enregistrées toutes les 10 minutes. La figure 5-37 présente un aperçu de l'interface mobile. L'application mobile permet également d'envoyer des alertes en cas d'anomalies (figure 5-38).



Figure 5-36: Station Netatmo



Figure 5-37: Interface Netatmo via l'application mobile



Figure 5-38: Système d'alertes Netatmo

Nous avons installé :

Pour les paramètres de confort :

- 6 Modules THLN ,
- 4 Stations Netatmo

Pour les paramètres de sécurité :

- 2 Capteurs de contact,
- 1 Capteur d'incendie,
- 1 Capteur de mouvement et présence

La figure 5-39 présente le plan d'instrumentation de l'école. Le choix de l'emplacement des capteurs dans les salles a été décidé en concertation avec les enseignants. Les modules THLN ont été accrochés au mur, près du tableau. De même que pour les stations Netatmo. Nous les avons installées sur une table près du tableau, car nous avons besoin d'une prise de courant électrique.

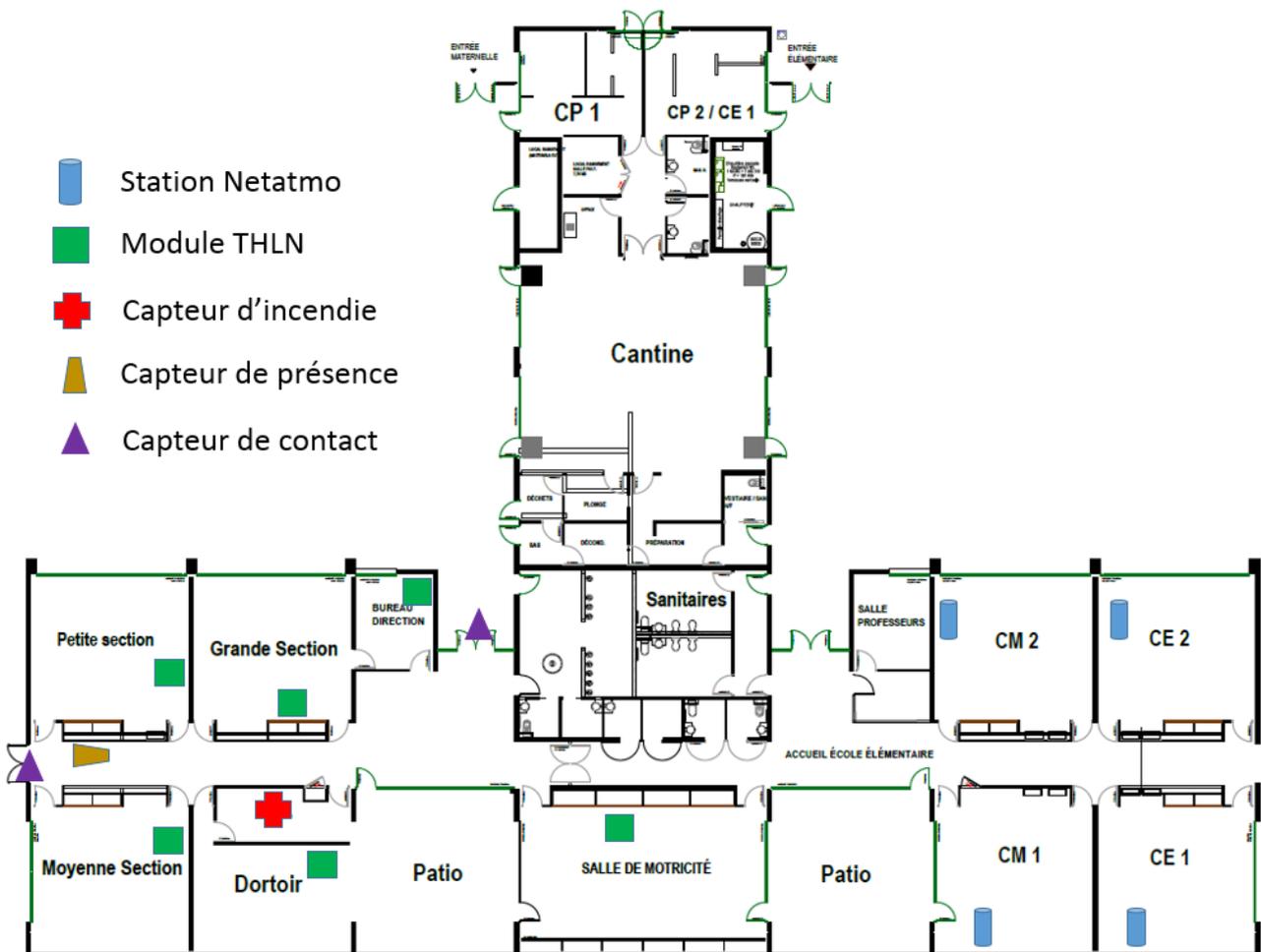


Figure 5-39: Plan d'instrumentation de l'École Jean Macé

Un capteur d'incendie a été installé dans la cuisine réservée aux enseignants. Il s'agit d'un détecteur de fumée communicant.

Concernant les paramètres de sécurité, nous avons installé les capteurs de contact sur les portes extérieures les plus utilisées. De même, nous avons installé un capteur de mouvement et de présence à un endroit sensible au niveau de l'école.

5.4.2 Résultats primaires

Dans cette section, nous allons étudier l'environnement intérieur dans les classes de CE1, CE2, CM1 et CM2. Nous présenterons les données enregistrées lors de la période d'observation du 11 février 2020 à 8h au 03 juillet 2020 à 19h.

5.4.2.1 Température

Nous avons représenté la variation de la température en fonction du temps à la figure 5-40. Nous remarquons que les valeurs de températures sont comprises dans l'intervalle de confort. On note que la température de consigne (19 °C) est souvent respectée. On distingue 2 événements. Le premier concerne l'interruption pédagogique pour les vacances d'hiver, du samedi 15 février 2020 au lundi 02 mars 2020. Durant cette période, le bâtiment n'a pas été chauffé, ce qui explique les températures basses. Le second événement concerne des valeurs hautes de température, enregistrées les 24 et 25 juin. Cela est dû à la forte chaleur extérieure pendant cette période. En effet, la température extérieure a atteint 32 °C. Le graphique permet également de distinguer la période de confinement (du 15 mars au 11 mai 2020).

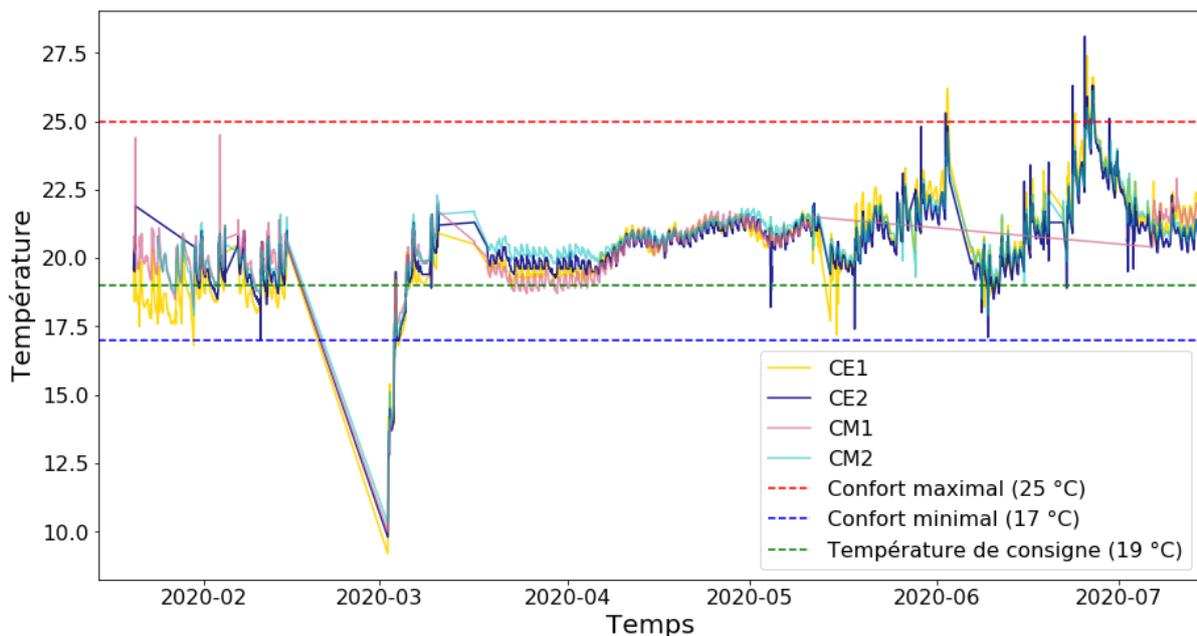


Figure 5-40: Variation de la température en fonction du temps dans les différentes salles de cours

Nous constatons aussi que les températures dans les salles sont quasiment les mêmes, ce qui est confirmé par les digrammes boxplot (figure 5-41).

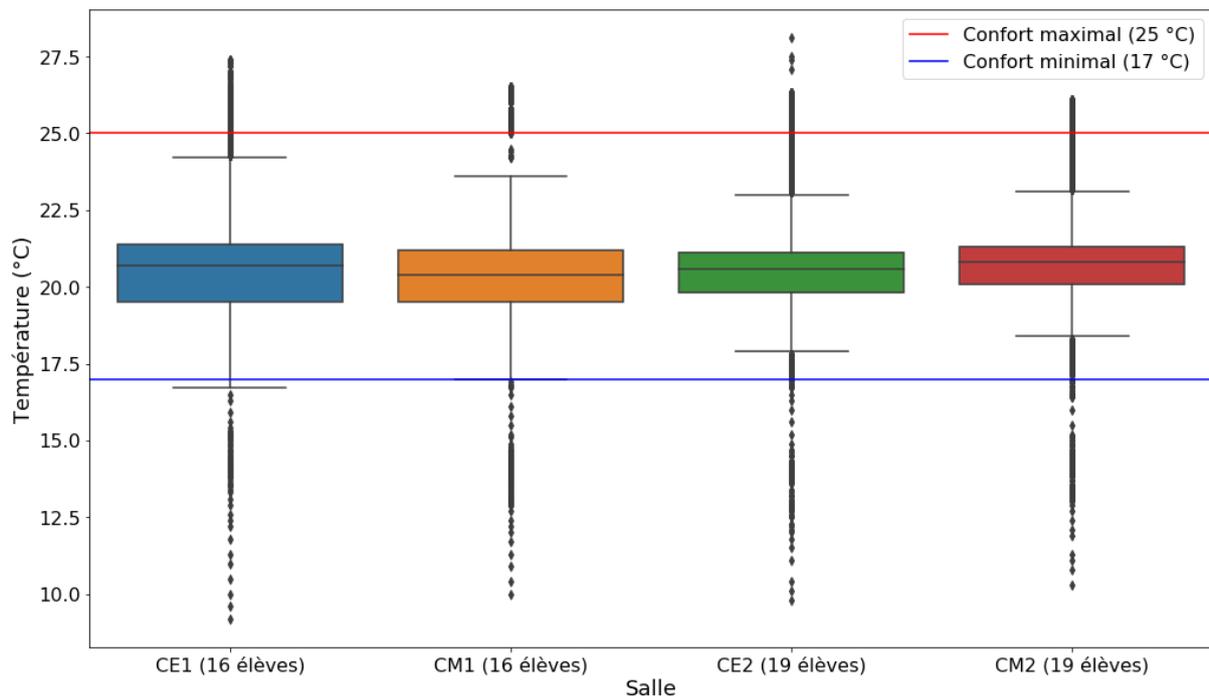


Figure 5-41: Diagramme « boxplot » de la dispersion de la température dans les différentes classes de cours durant toute la période d'observation

Nous constatons que les classes de CE2 et CM2 sont légèrement plus chaudes que les classes de CE1 et CM2. À cela, 2 explications peuvent être fournies. D'abord, le nombre d'élèves, dans les classes de CE2 et CM2, qui ont 3 élèves de plus que dans les autres classes. La seconde explication pourrait être liée à l'orientation du bâtiment. En effet, les classes de CE2 et CM2 ont une orientation Nord-Ouest, tandis que les classes de CE1 et CM1 sont orientées vers le Sud-Est.

5.4.2.2 Humidité

La figure 5-42 présente la variation de l'humidité pendant la période d'observation. Les valeurs enregistrées sont le plus souvent comprises dans l'intervalle de confort. On remarque que l'interruption du chauffage durant la période de vacances scolaires d'hiver a eu pour effet une augmentation considérable de l'humidité dans les salles. La figure 5-43 montre que les salles de CE2 et CM2 sont légèrement plus humides que les deux autres. À noter que le capteur dans la salle de CM1 a connu une interruption de 2 mois pendant la période post-confinement. Nous reviendrons sur ce point dans la section suivante.

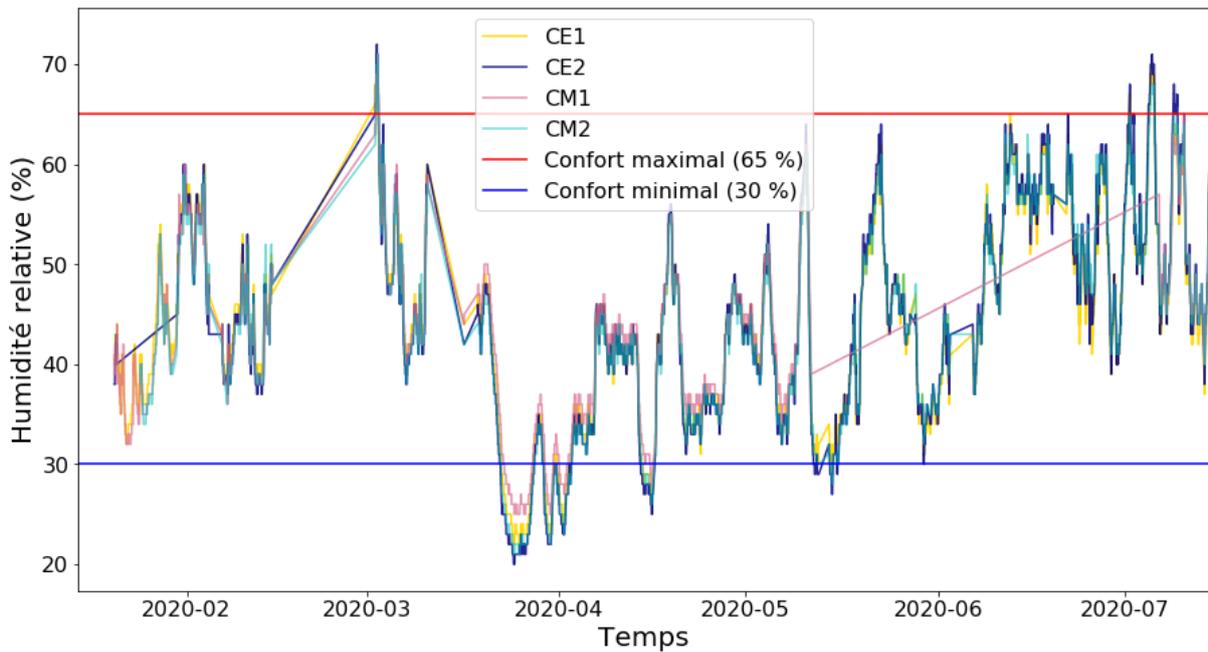


Figure 5-42: Variation de l'humidité relative en fonction du temps dans les différentes salles de cours

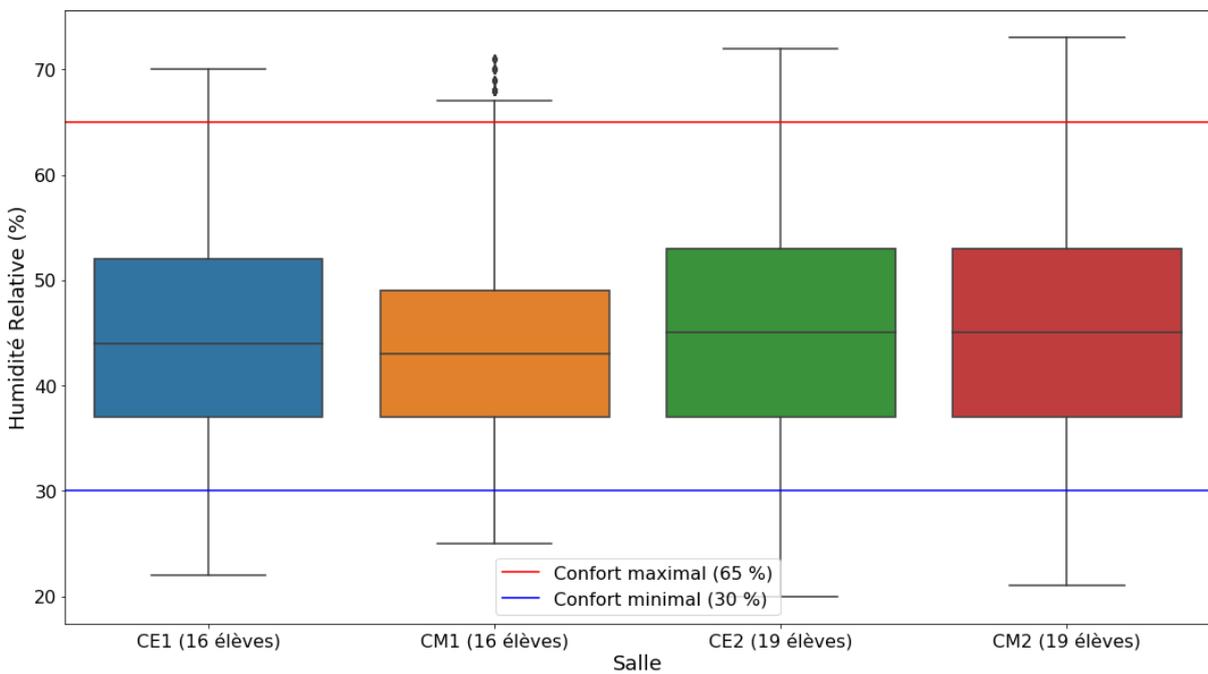


Figure 5-43: Digramme « boxplot » de la variation de l'humidité relative dans les différentes salles de cours durant toute la période d'observation

5.4.2.3 Qualité de l'air

La figure 5-44 montre la variation de la concentration de CO₂ dans les 4 classes. On note que la qualité de l'air est assez bonne. Des pics sont enregistrés, sans pour autant que le seuil de danger ne soit atteint (5000 ppm, soit 0.5 % de CO₂ dans l'air). On note l'excellence de la

qualité de l'air dans les 4 classes. La figure 5-45 présente les digrammes violiniplot de la distribution du CO2 dans les différentes classes. On remarque que les 4 classes ont un comportement identique, avec une légère variation quant à la valeur maximale enregistrée.

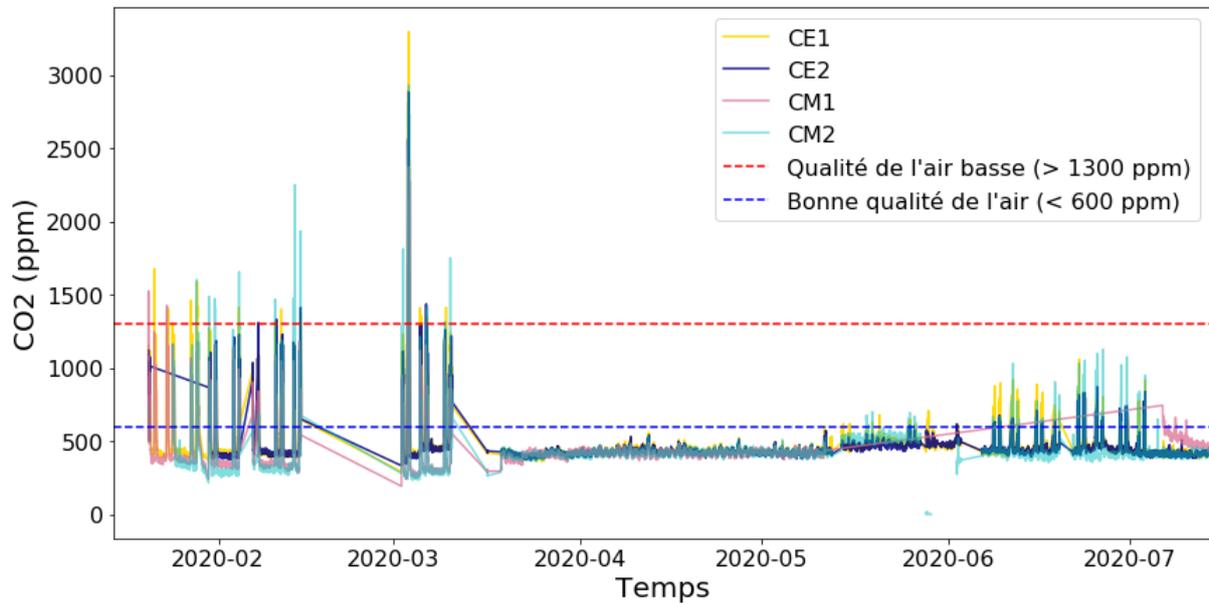


Figure 5-44: Variation de la concentration en CO2 dans les différentes classes en fonction du temps

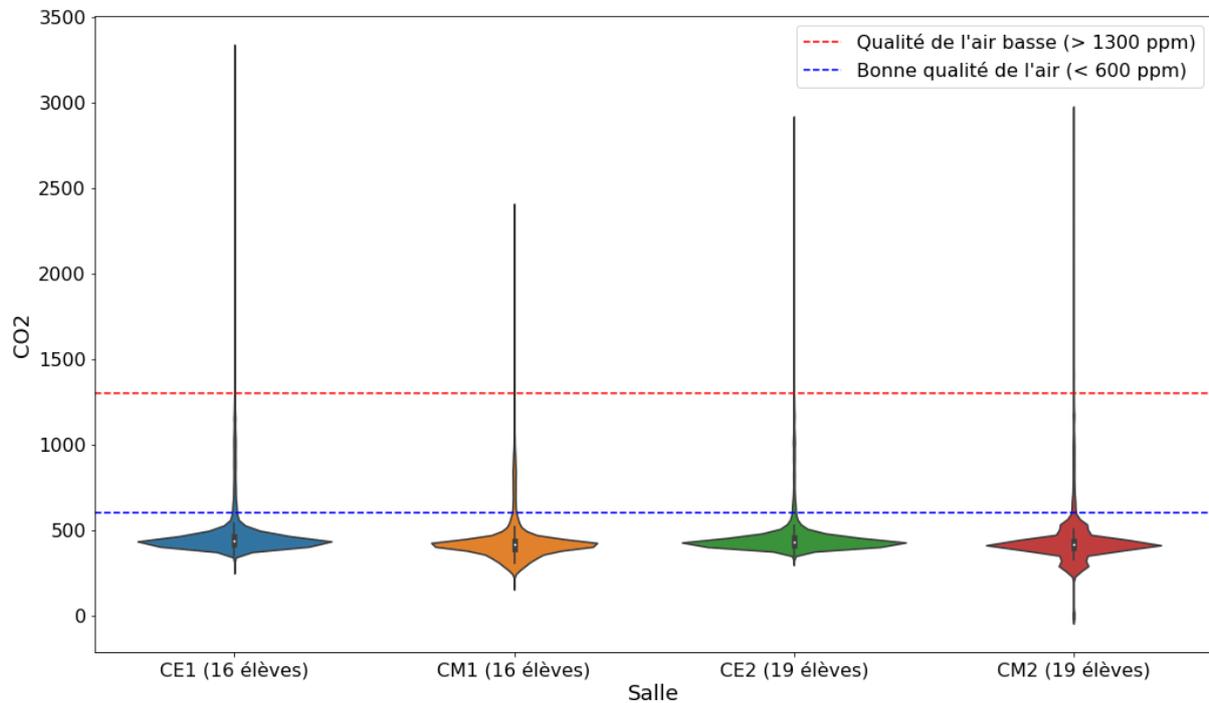


Figure 5-45: Diagramme « Violinplot » de la distribution de CO2 dans les différentes classes durant toute la période d'observation

5.4.2.4 Niveau Sonore

Les figures 5-46 et 5-47 présentent le niveau sonore dans les 4 classes. Elles montrent que le niveau sonore est similaire dans les 4 classes, et que ces valeurs sont normales pour une classe avec des étudiants de primaires. On peut distinguer sur les figures la période de confinement.

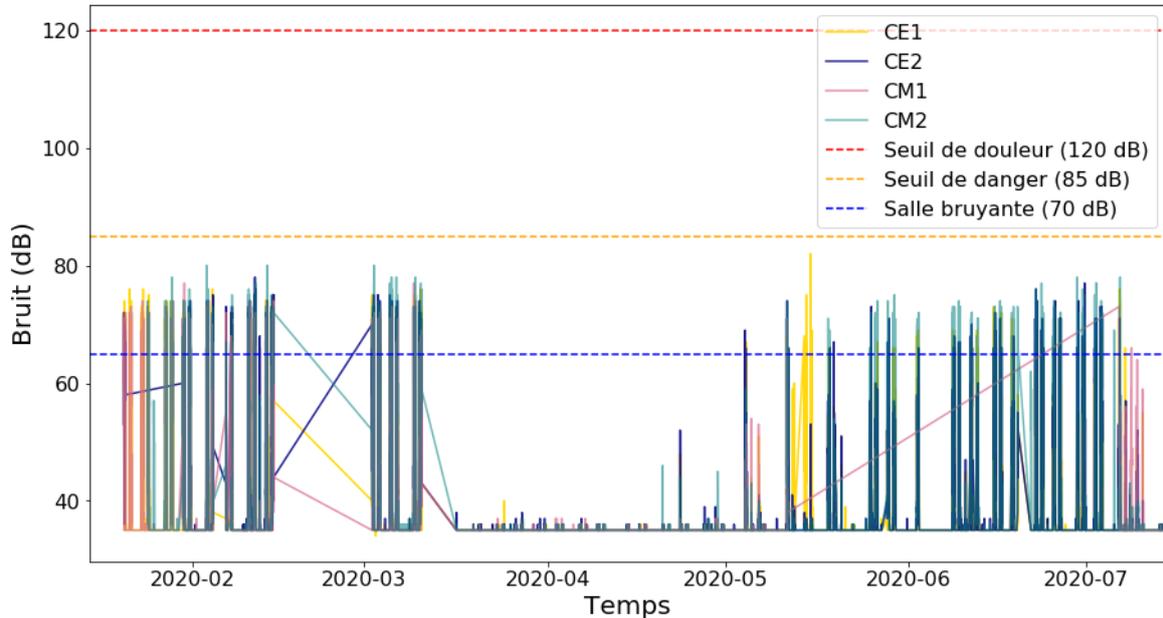


Figure 5-46: Variation du niveau sonore (en dB) en fonction du temps dans les différentes classes

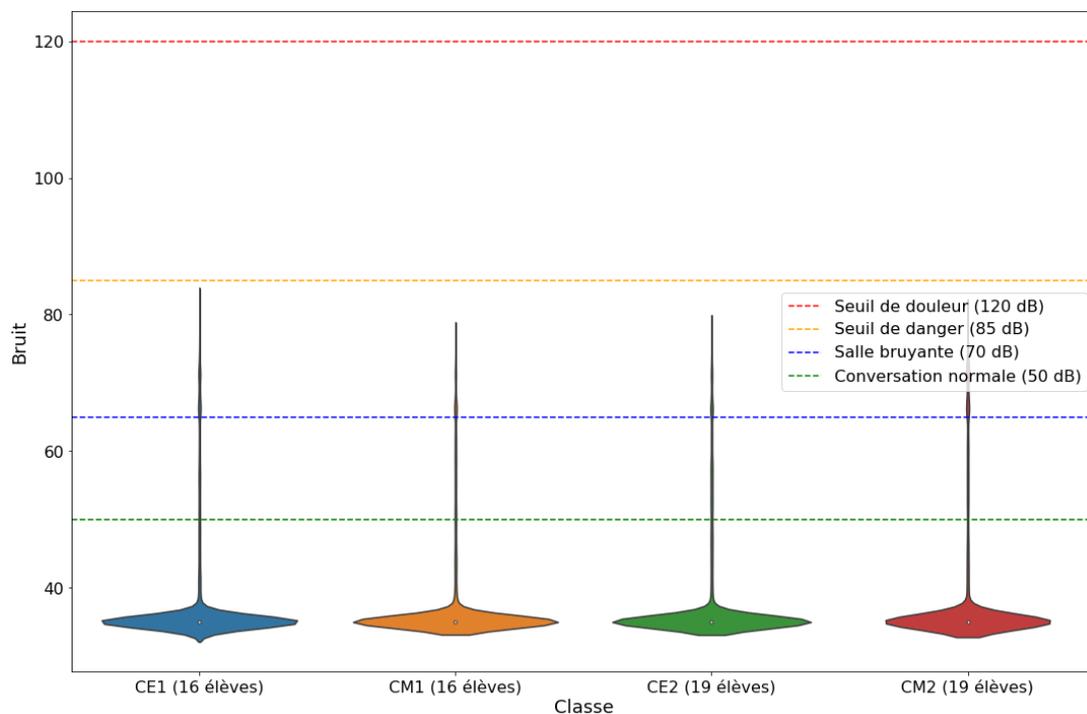


Figure 5-47: Diagramme « violonplot » de la variation du bruit dans les différentes classes durant toute la période d'observation

5.4.2.5 Corrélation

La figure 5-48 montre la matrice de corrélation entre les différents paramètres. On note une forte corrélation entre le taux de CO2 et le niveau sonore, seuls paramètres à être impactés par l'occupation de la salle.

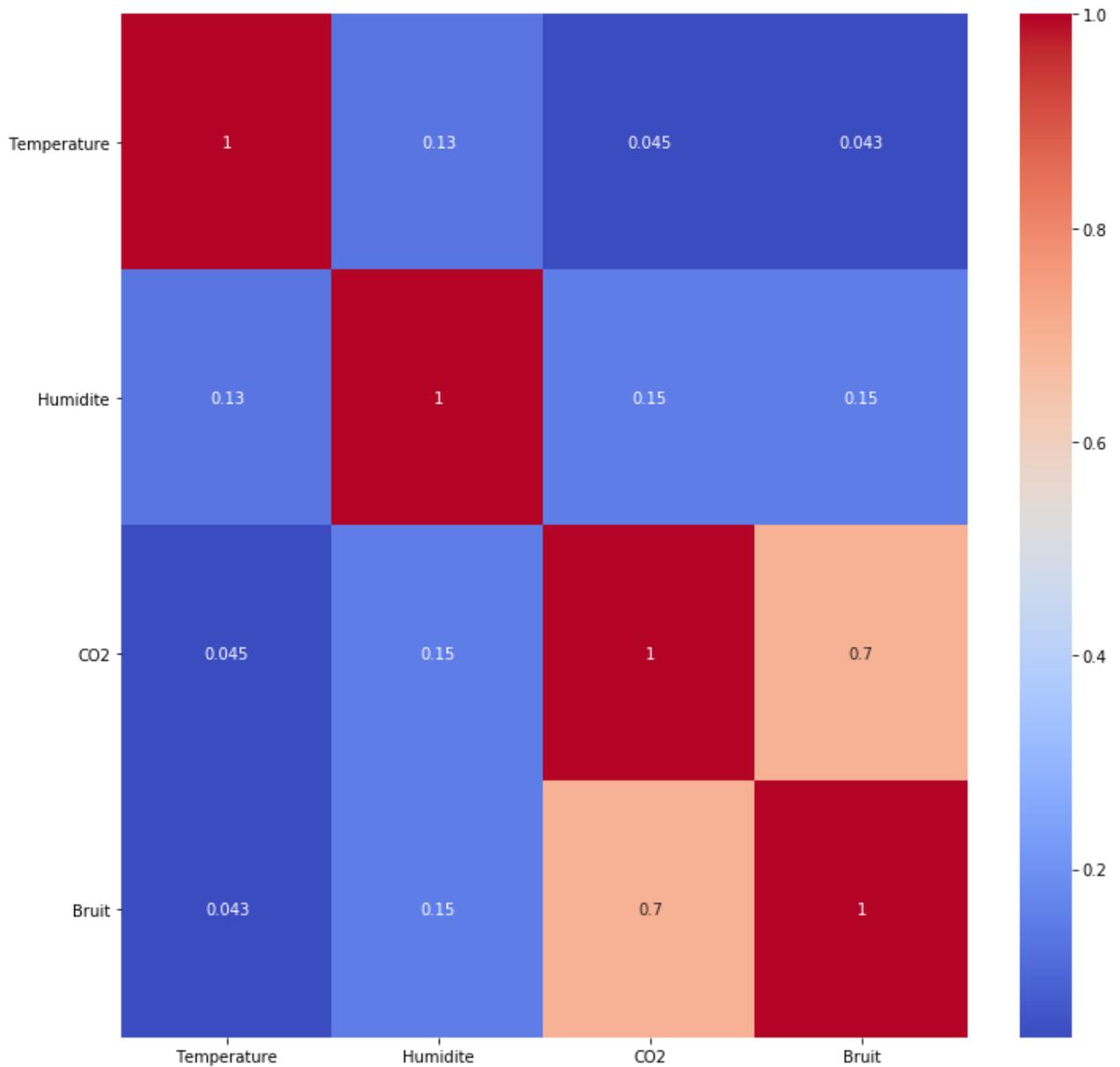


Figure 5-48: Matrice de corrélation entre les différents paramètres pour toute la durée d'observation

5.4.3 Occupation normale

Les résultats présentés préalablement ne représentent pas les conditions normales d'occupation d'une salle de cours. En effet, la période totale d'observation incluait la période de confinement. Pendant toute cette durée, les salles n'ont pas été occupées, pour autant, les données ont été constamment enregistrées. Nous présenterons, dans la section qui suit, les résultats pour la période du 02 mars 2020 à 8h au 08 mars 2020 à 18h.

5.4.3.1 Température

La figure 5-49 présente la variation de la température pendant la semaine qui a suivi l'interruption pédagogique d'hiver (du 15 février 2020 au lundi 02 mars 2020). Durant cette période, le bâtiment n'a pas été chauffé. Une panne de chauffage est survenue, ce qui explique les faibles températures le premier jour. À noter que la température de consigne n'a été atteinte qu'au bout de 3 jours. Néanmoins, nous pouvons distinguer les moments d'occupation des salles. En effet, ce profil permet d'identifier les journées (et même les demi-journées). Visiblement, la température de chauffage a augmenté un peu plus chaque jour.

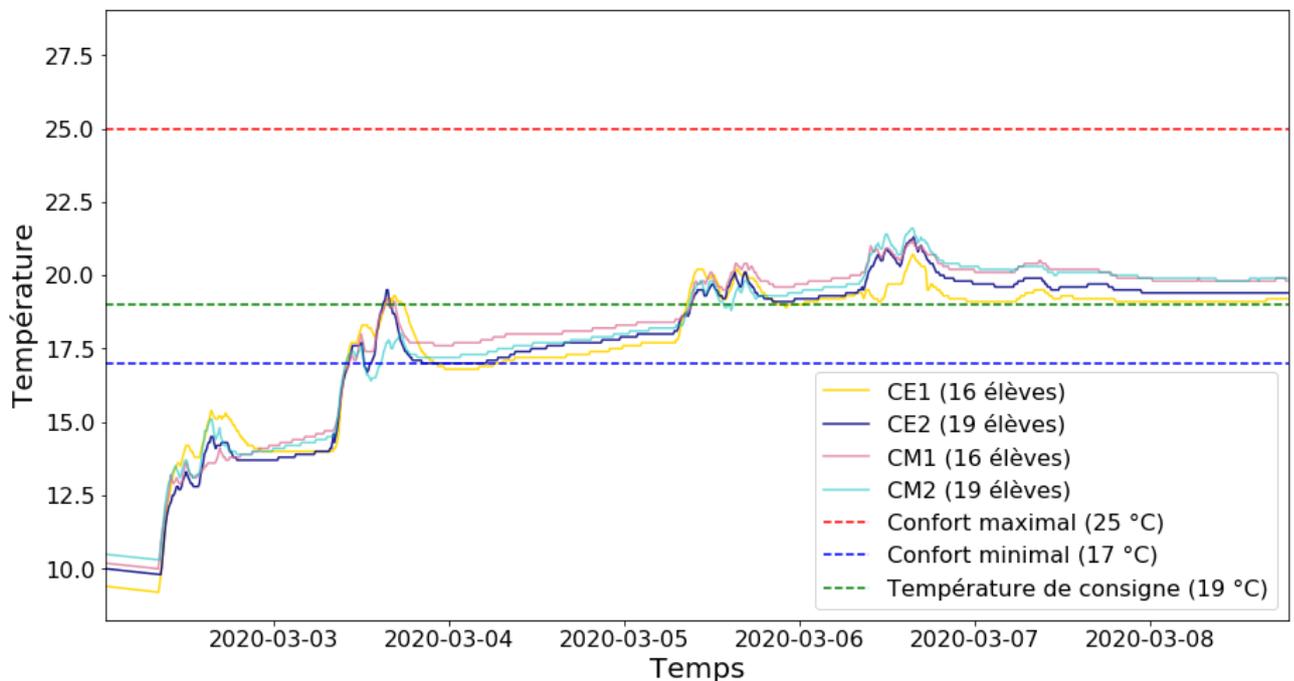


Figure 5-49: Profil hebdomadaire de température en occupation normale

5.4.3.2 Humidité

La figure 5-50 présente la variation de l'humidité dans les 4 classes sur une semaine. On note que l'humidité a été impactée par l'absence de chauffage le premier jour de cours. On remarque bien que l'humidité relative était élevée le premier jour (à noter que la température intérieure était de 12.5 °C). Ce profil permet de distinguer les jours de cours. On distingue clairement les fois où la valeur de l'humidité a augmenté.

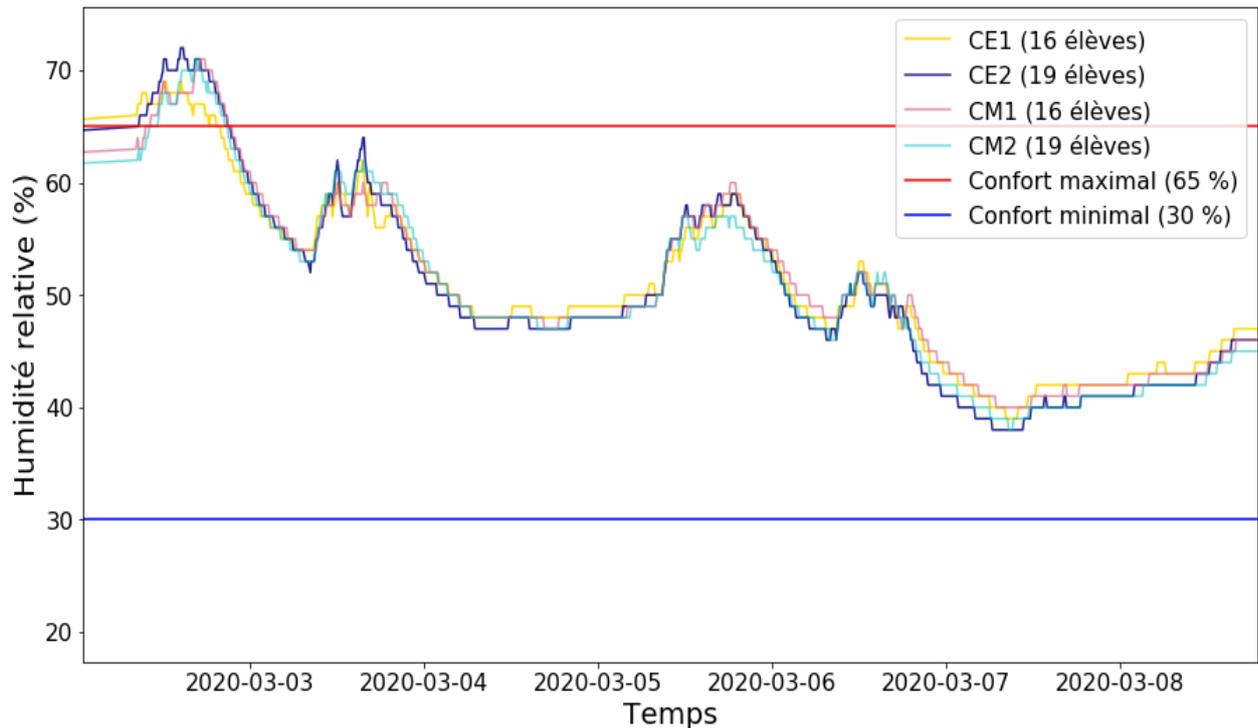


Figure 5-50: Profil hebdomadaire de la variation de l'humidité relative en occupation normale

5.4.3.3 Qualité de l'air

La figure 5-51 présente la variation hebdomadaire de la concentration de CO₂. Elle montre clairement que les 4 classes n'ont pas été occupées le mercredi. Nous remarquons également que les 4 classes ont un profil hebdomadaire et même journalier (figure 5-52) similaires. Elles montrent que la courte période de récréation (20 minutes) suffit à faire baisser la concentration de CO₂ et contribue ainsi à améliorer la qualité de l'air intérieure.

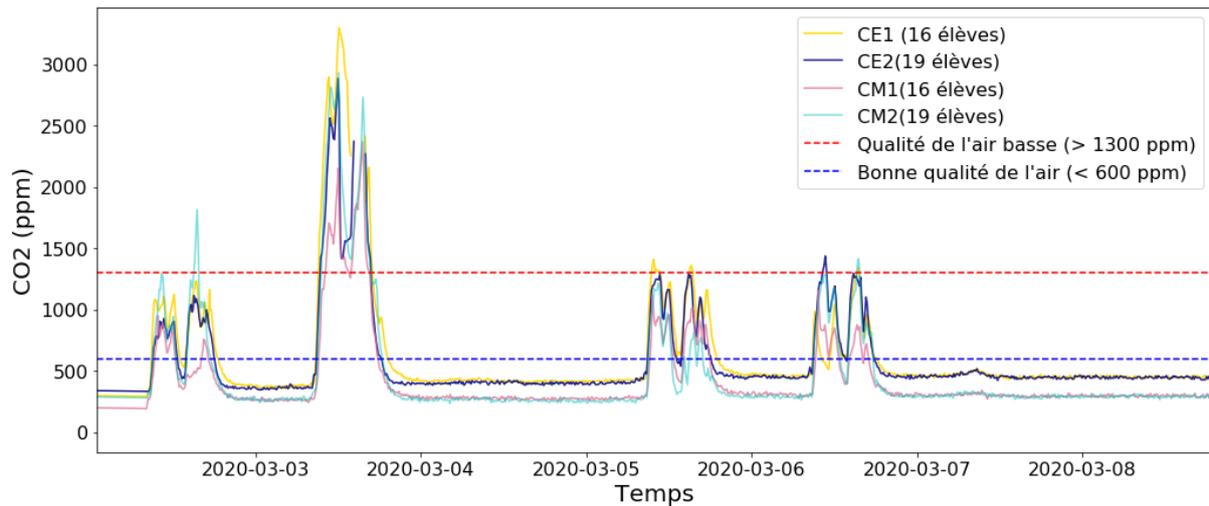


Figure 5-51: Profil hebdomadaire de la variation de la concentration de CO₂ en ppm en occupation normale

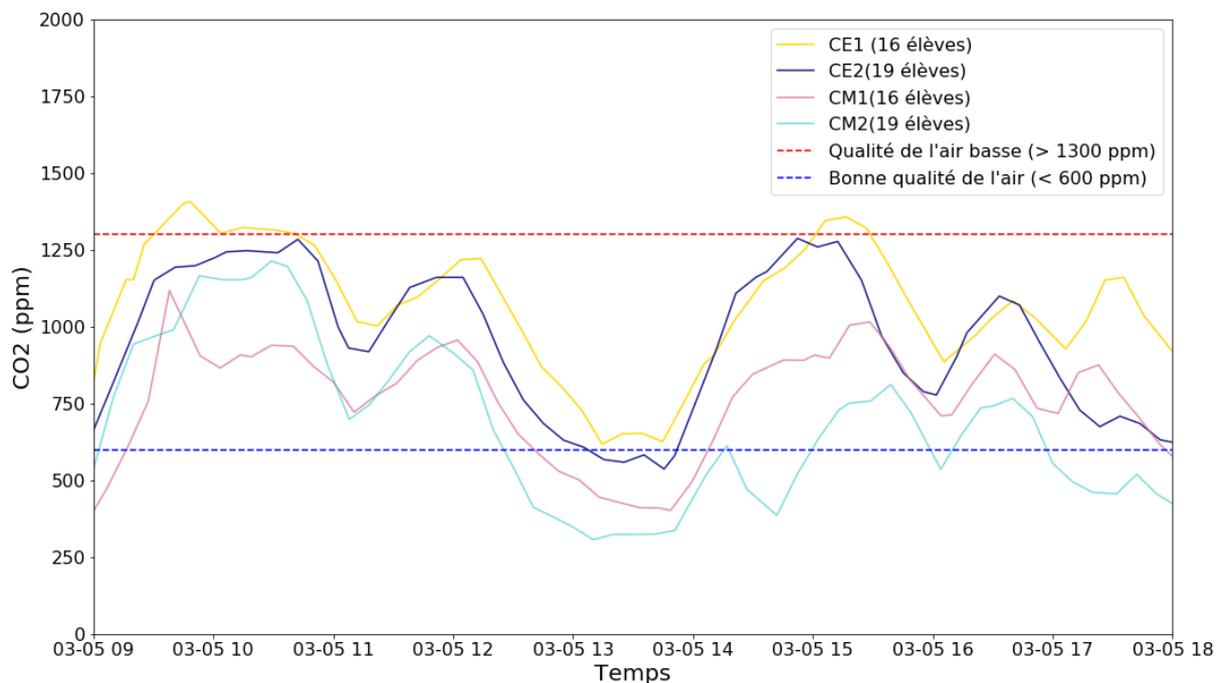


Figure 5-52: Profil journalier de la concentration de CO₂ en ppm, pour un occupation normale

La figure 5-53 montre les digrammes en violon plot de la distribution du CO₂ dans les 4 classes. La majorité des valeurs enregistrées indiquent une bonne qualité de l'air. À l'inverse de la figure 5-45 (en tenant compte du confinement), les digrammes pour une occupation normale montrent bien que la part, où la qualité de l'air est moyenne, est plus importante. Les périodes avec excellente qualité de l'air restent majoritaires. Cela s'explique par le fait que les données sont enregistrées 24 heures sur 24. La durée d'occupation de la salle n'excède pas 8 heures.

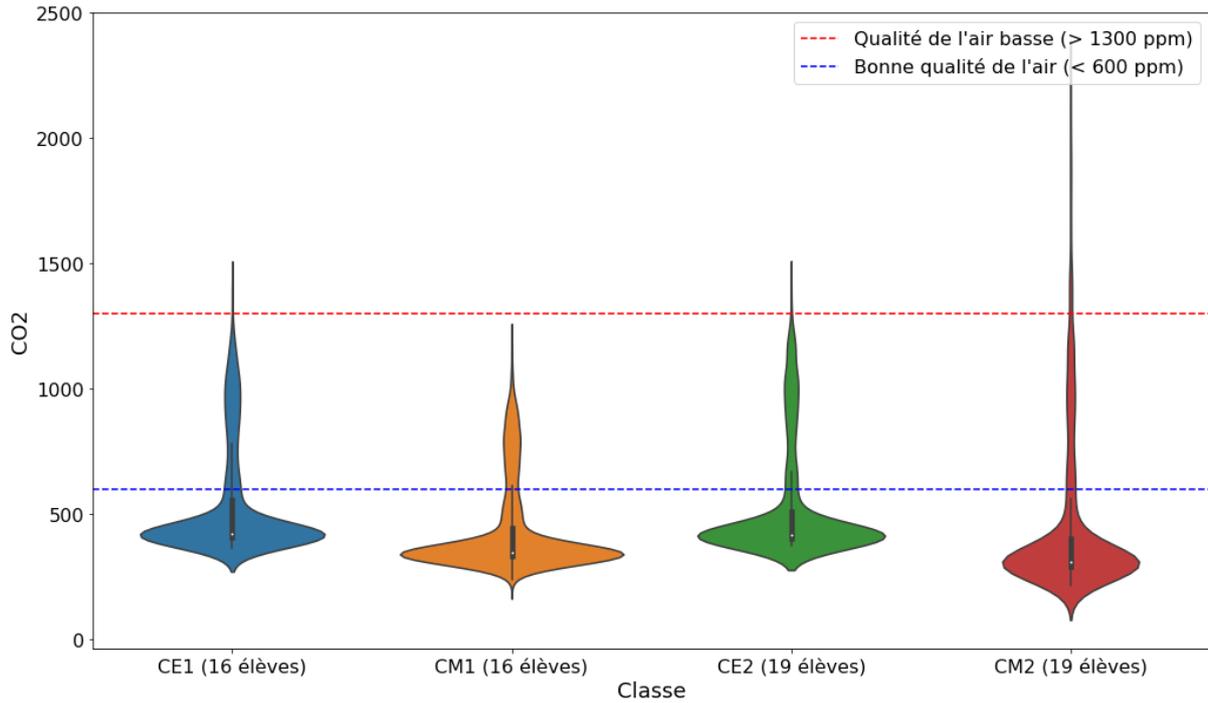


Figure 5-53: Diagramme « Violinplot » de la distribution de CO2 dans les différentes classes durant une semaine d'occupation normale

5.4.3.4 Niveau sonore

Le niveau sonore est, lui aussi, un bon indicateur de l'occupation des salles. La figure 5-54 présente le profil hebdomadaire de la variation du niveau sonore dans les 4 salles, en période d'occupation normale.

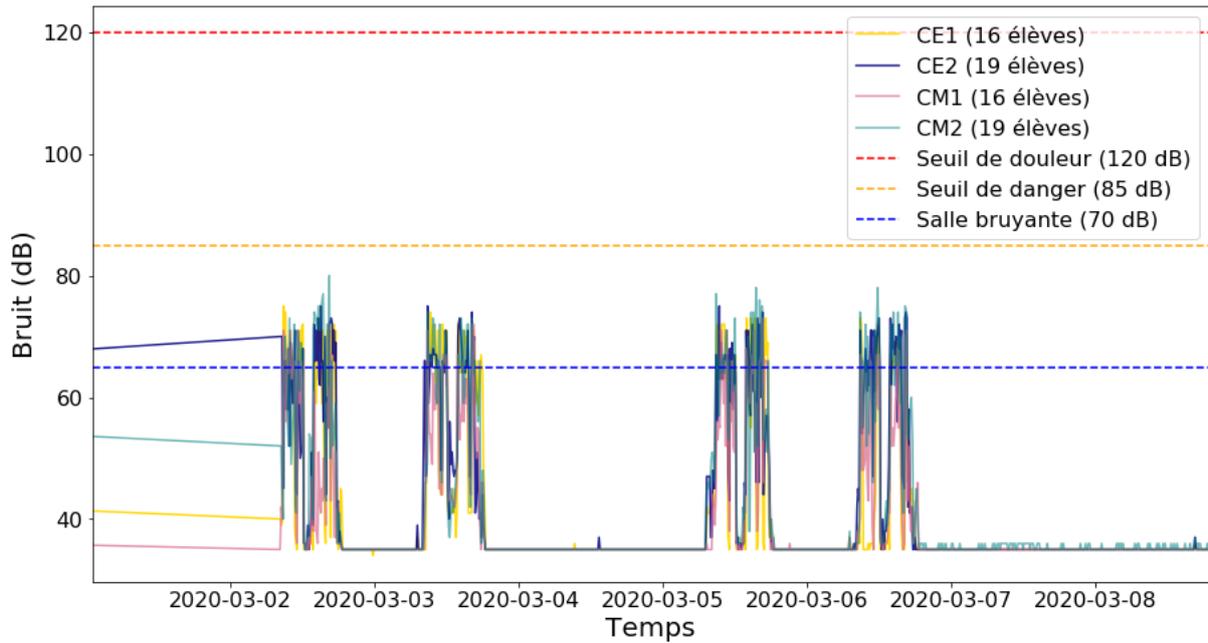


Figure 5-54: Profil hebdomadaire de la variation du niveau sonore dans les 4 salles, en période d'occupation normale

5.4.4 Analyse Post covid-19

Dans cette section, nous présenterons les résultats des paramètres de confort enregistrés juste après la reprise suite à la crise sanitaire liée au Covid-19. Le but sera d'étudier si les gestes barrières et les mesures de distanciation ont eu un impact sur le niveau de confort dans les salles de classe, en particulier, par rapport à la qualité de l'air.

La reprise des cours a eu lieu le 11 mai. À cette date, la présence des élèves à l'école était laissée à l'appréciation des parents. La première semaine, 14 élèves (toutes classes confondues) étaient présents. Ce n'est qu'à partir du 15 juin 2020 que l'école est redevenue obligatoire mais même à cette date, tous les élèves n'étaient pas revenus à l'école. Spécialement les élèves de CM1 et CM2. L'administration de l'école a décidé d'ouvrir une seule salle de cours pour les deux niveaux d'études.

Les enseignants nous ont informé que la ventilation des salles a été renforcée, par voie naturelle : ouverture des fenêtres (heureusement que les températures extérieures le permettait).

À cet effet, nous prendrons comme période d'observation du 22 juin 2020 à 7h au 27 juin 2020 à 19h, et nous ne présenterons les résultats que pour 3 salles de cours CE 1, CE 2 et CM1&CM2.

5.4.4.1 Température

La figure 5-55 représente la variation de la température sur une semaine pour les 3 classes.

On remarque que la température de confort est assez respectée. Les deux derniers jours, la ville a connu un épisode de canicule, avec des températures extérieures atteignant les 32 °C. Cela explique les valeurs de température élevées les 26 et 27 juin.

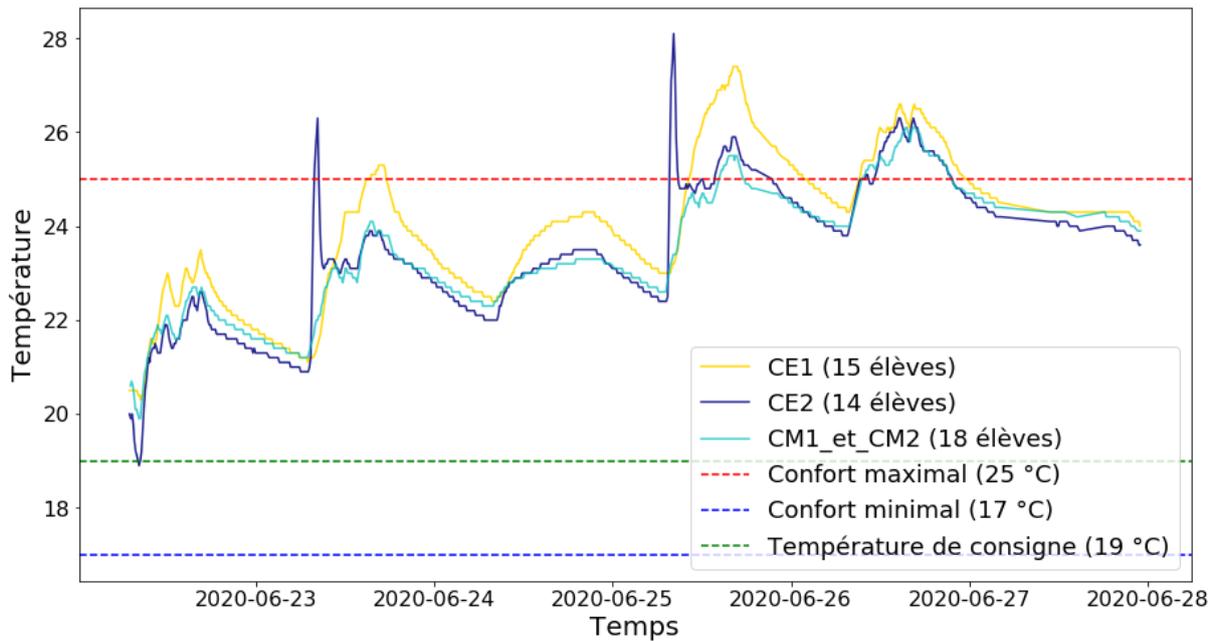


Figure 5-55: Profil hebdomadaire de température après le confinement

La figure 5-56 présente les digrammes boxplot de la distribution de la température dans les 3 classes. On y remarque que les valeurs enregistrées sont très proches, mais que les salles les plus occupées, enregistrent des valeurs plus basses que les salles les moins occupées.

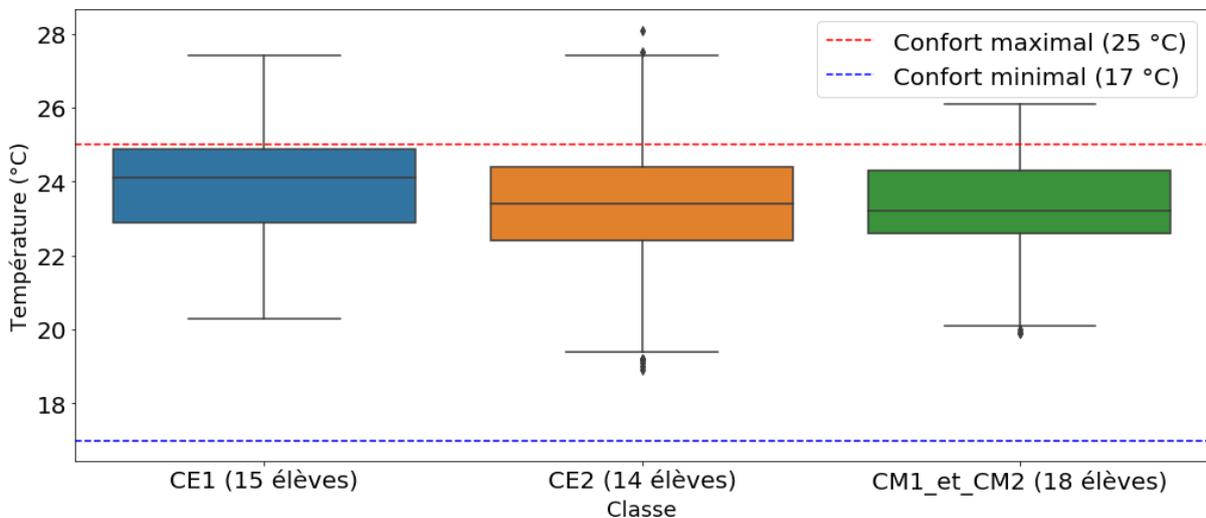


Figure 5-56: digrammes boxplot de la distribution de la température dans les 3 classes

5.4.4.2 Humidité

La figure 5-57 présente la variation de l'humidité relative pour la période post-confinement. On remarque que les profils sont quasiment identiques, et que les valeurs enregistrées sont comprises dans la zone de confort.

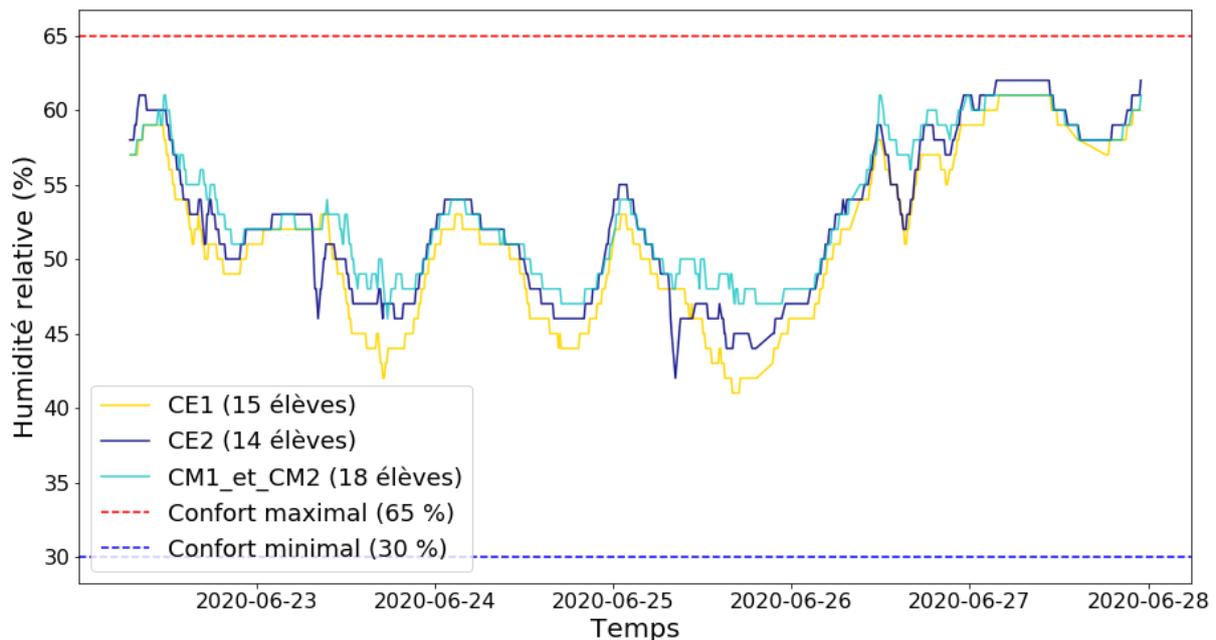


Figure 5-57: Profil hebdomadaire de température après le confinement

5.4.4.3 Qualité de l'air

La figure 5-58 présente la variation hebdomadaire de la concentration de CO₂. On constate que, pendant les périodes d'occupation, la classe des CMs enregistre des valeurs légèrement plus élevées que les deux autres classes.

Nous constatons que la qualité de l'air a connu une amélioration. En effet, l'ensemble des valeurs enregistrées n'atteint pas 1300 ppm, ce qui est différent de ce qui a été constaté auparavant.

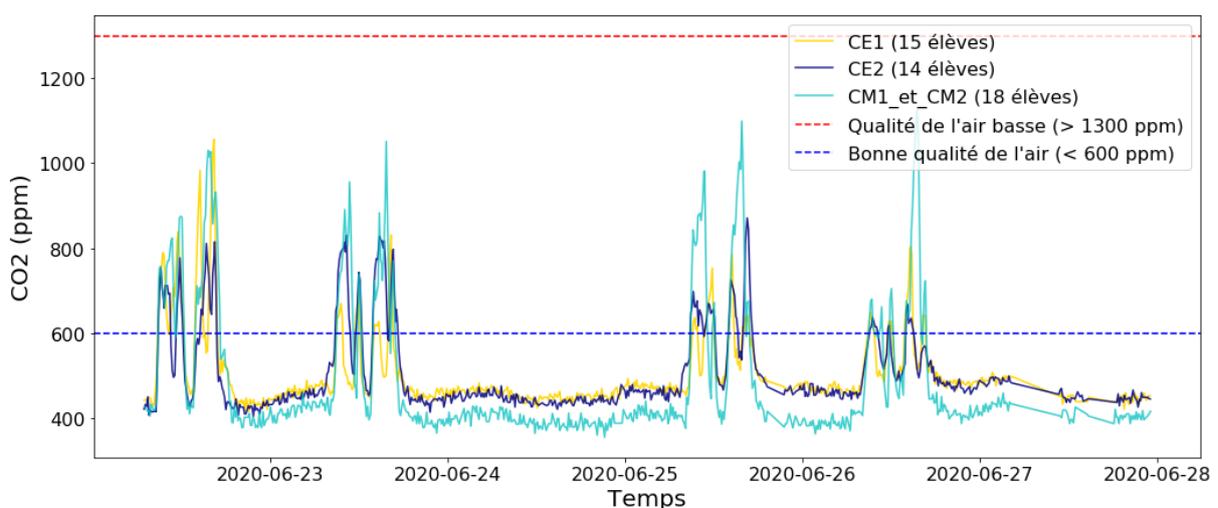


Figure 5-58: Profil hebdomadaire de la qualité de l'air après le confinement

La figure 5-59 présente les diagrammes violonplot de la distribution de la concentration de CO₂ pour les 3 classes. Elle confirme l'amélioration de la qualité de l'air dans les salles.

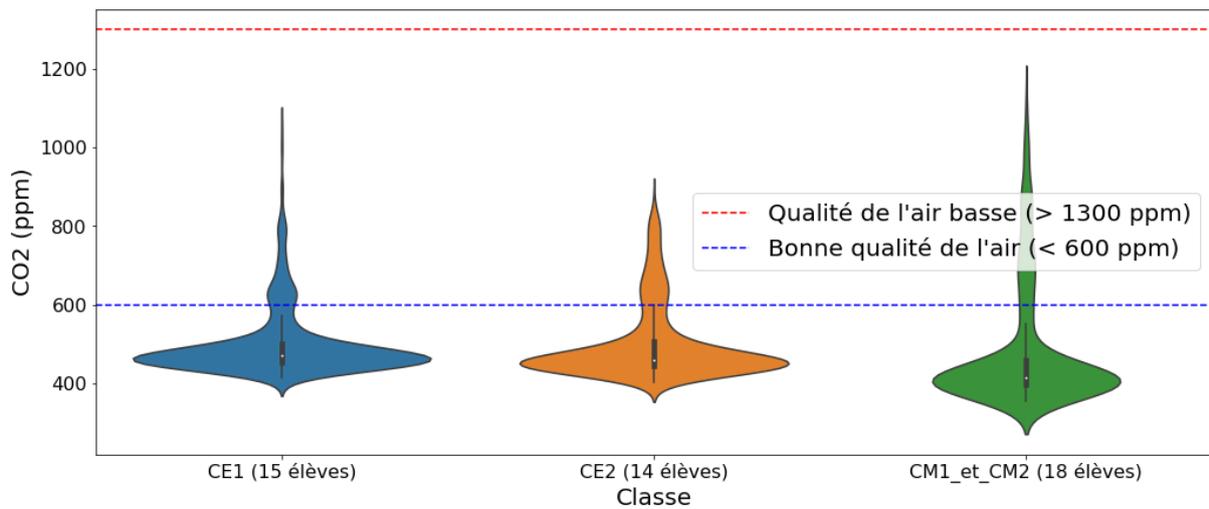


Figure 5-59: diagrammes violonplot de la distribution de la concentration de CO₂ dans l'air pour les 3 classes après le confinement

La figure 5-60 montre un profil journalier de la variation de CO₂. On note que les concentrations de CO₂ sont plus basses que d'habitude. Nous vérifions également que la durée de récréation contribue à l'amélioration de la qualité de l'air dans la salle. En outre, nous vérifions également que les heures de récréation ne sont pas les mêmes pour toutes les classes. En effet, les classes de CE 1 et CE 2 sortaient 20 minutes plus tôt que les classes de CM. Cela confirme, par la même occasion, la fiabilité des instruments utilisés.

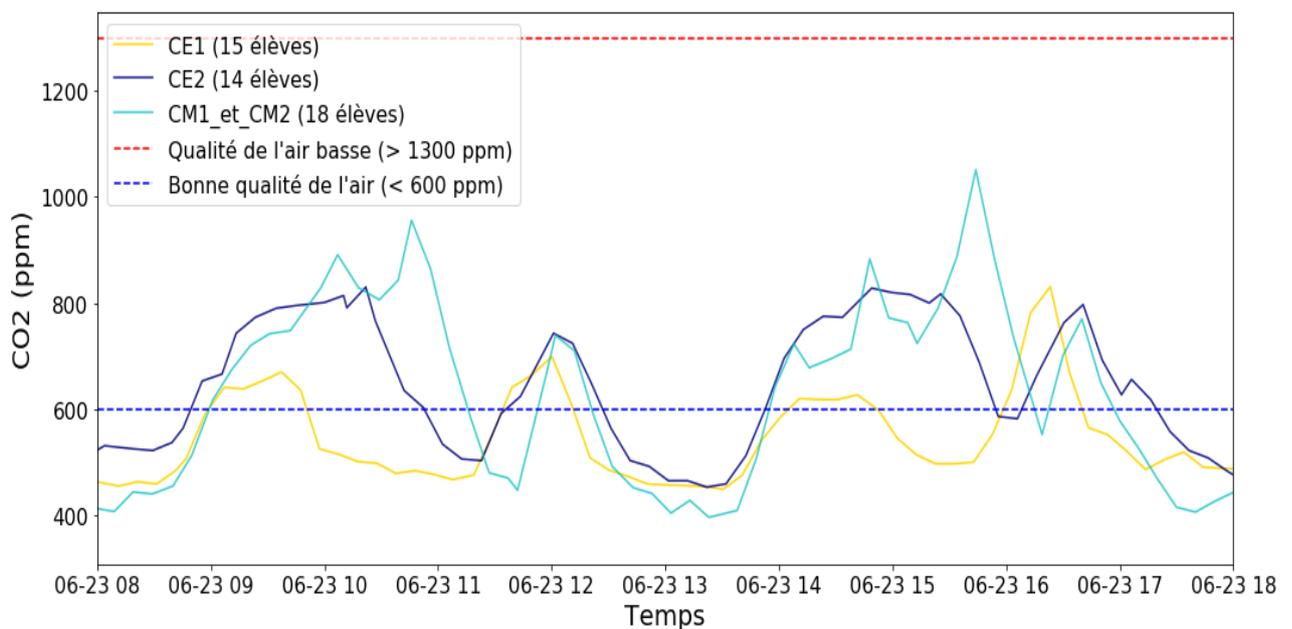


Figure 5-60: Profil journalier de la qualité de l'air après le confinement

5.4.5 Complément aux programmes scolaires :

Cette section présente l'utilisation du système déployé à des fins pédagogiques. Nous allons présenter dans quelles mesures ce système peut conforter les programmes d'enseignement. Ainsi, nous nous sommes intéressés aux programmes d'enseignement du primaire. Plus généralement, les cycles 2, 3 et 4, et plus précisément au cycle 3, du CM1 à la 6^{ème}.

Dans un rapport de 2015, du ministère de l'Éducation Nationale, de l'Enseignement Supérieur et de la Recherche, intitulé : « Programmes pour les cycles 2,3 et 4 ». Nous pouvons lire : « *Toutes les disciplines scientifiques et la technologie concourent à la construction d'une première représentation globale, rationnelle et cohérente du monde dans lequel l'élève vit. Le programme d'enseignement du cycle 3 y contribue en s'organisant autour de thématiques communes qui conjuguent des questions majeures de la science et des enjeux sociétaux contemporains* ».

Ce même rapport, fait référence à l'appropriation des outils technologique impliquant les élèves « *La construction des concepts scientifiques s'appuie sur une démarche, qui exige des observations, des expériences, des mesures, etc. ; la formulation d'hypothèses et leur mise à l'épreuve par des expériences, des essais ou des observations ; la construction progressive de modèles simples, permettant d'interpréter celles-ci ; la capacité enfin d'expliquer une diversité de phénomènes, et de les prévoir [...] Les exemples utilisés sont le plus souvent issus de l'environnement des élèves, devenant ainsi source de sens pour lui [...] Les élèves peuvent décrire les interactions entre les objets techniques et leur environnement et les processus mis en œuvre [...] et ainsi comprendre l'évolution technologique des objets et utiliser les outils numériques* ».

D'une manière générale, l'enseignement des sciences et des technologies s'articule autour de thématiques « qui conjuguent des questions majeures de la science et des enjeux sociétaux contemporains. Plus précisément, pour les classes de CM1 et CM2, le programme de géographie exhorte les élèves à s'informer dans le monde du numérique. Notamment le thème 3 « Mieux habiter ». A la page 180 du rapport¹ précité, nous pouvons lire « *Améliorer le cadre de vie et préserver l'environnement sont au cœur des préoccupations actuelles. Il s'agit d'explorer, à l'échelle des territoires de proximité (quartier, commune, métropole, région), des cas de réalisations ou des projets qui contribuent au « mieux habiter ». La place réservée dans la ville aux espaces verts, aux circulations douces, aux berges et corridors verts, au développement de la biodiversité, le recyclage au-delà du tri des déchets, l'aménagement*

¹ Programmes pour les cycles 2,3 et 4

d'un éco-quartier sont autant d'occasions de réfléchir aux choix des acteurs dans les politiques de développement durable ».

De ce fait, l'instrumentation du bâtiment se trouve en harmonie avec les prescriptions et recommandations du ministère de l'enseignement. Dans la mesure où les technologies utilisées, apportent un cadre factuel et tangible à l'ensemble de ces préconisations.

Ainsi, les instituteurs disposent, d'une part, d'outils technologiques fiables et faciles d'utilisation. D'une autre part, ils disposent également d'un historique riche en données, facilement exploitable. Malheureusement, l'interruption pédagogique causée par la Covid-19 ne nous a pas permis d'accompagner les enseignants dans cette tâche.

Pour finir, nous avons installé un cadran d'environnement intérieur (Figure 5-61) dans le hall d'entrée du primaire. Ce capteur affiche en temps réel la température, le taux d'humidité et le niveau de CO2. Il a fortement contribué à éveiller la curiosité des élèves. De même, il sert à informer les parents d'élèves des innovations au sein de l'école, et à les sensibiliser.



Figure 5-61: Cadran d'environnement intérieur

5.5 Plateforme urbaine : Outil de gestion

Rappelons que le déploiement de la stratégie Smart City à Saint –Quentin a débuté par le développement du concept de Smart Municipal Building.

L'idée d'un outil de gestion à l'échelle globale de la ville est un moyen de concrétiser la vision de la Smart City.

Nous avons conçu un prototype de plateforme urbaine. Celle-ci répond à l'ensemble des prescriptions et préconisations établies en fin de chapitre III. La figure 5-62 présente la page d'accueil de la plateforme Saint-Quentin Smart City. L'outil est destiné à la ville (élus, responsables techniques, intervenants et citoyens, associations, pouvoirs publics, ...). L'outil donne accès à la carte de la ville, avec une multitude de points renseignés. Il s'agit là de bâtiments spécifiques. Pour le moment, nous y avons renseigné en orange l'ensemble des écoles de la ville, et en vert 4 bâtiments qui serviront de sites pilotes.

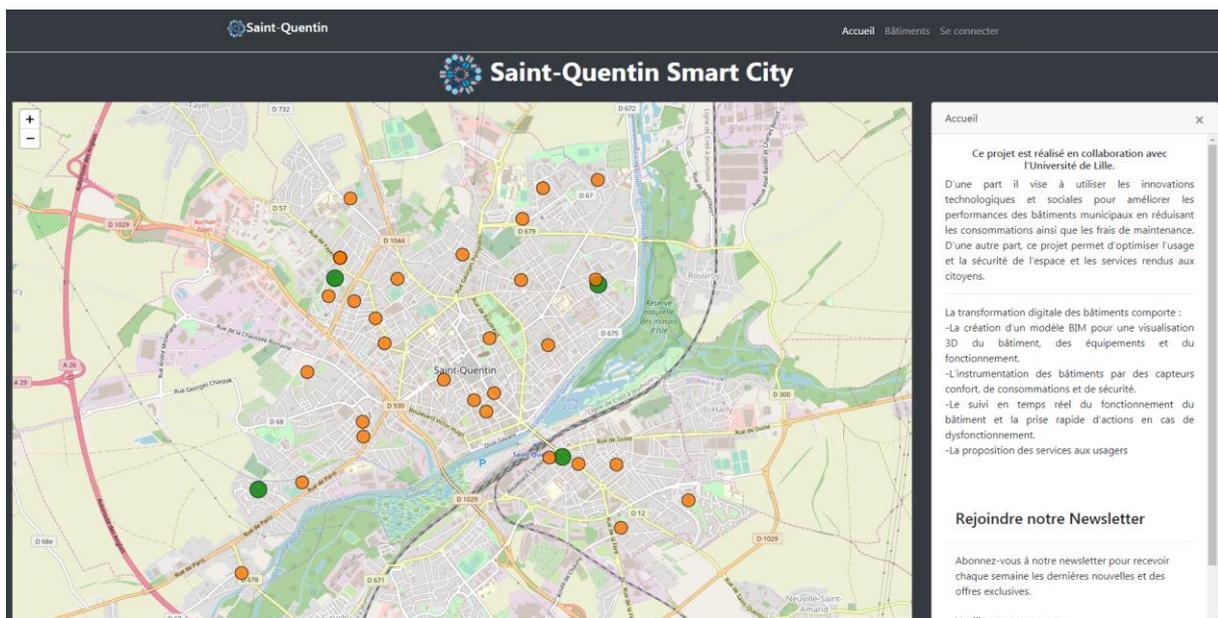


Figure 5-62: Page d'accueil de la plateforme Saint-Quentin Smart City

Une fois intéressé par un bâtiment, il suffit de passer le curseur de la souris dessus, ou de zoomer sur la carte, pour qu'une image de celui-ci se dévoile (figure 5-63). Pour plus de détails, nous prendrons, comme exemple, le bâtiment « La Manufacture ». La figure 5-64 présente la page d'accueil du bâtiment "La Manufacture" sur la plateforme Saint-Quentin Smart City. Deux fonctionnalités majeures se distinguent. La première est commune à tous les bâtiments, elle concerne le fonctionnement technique. Une seconde est propre à chaque bâtiment, en fonction de son utilisation et des services associés.

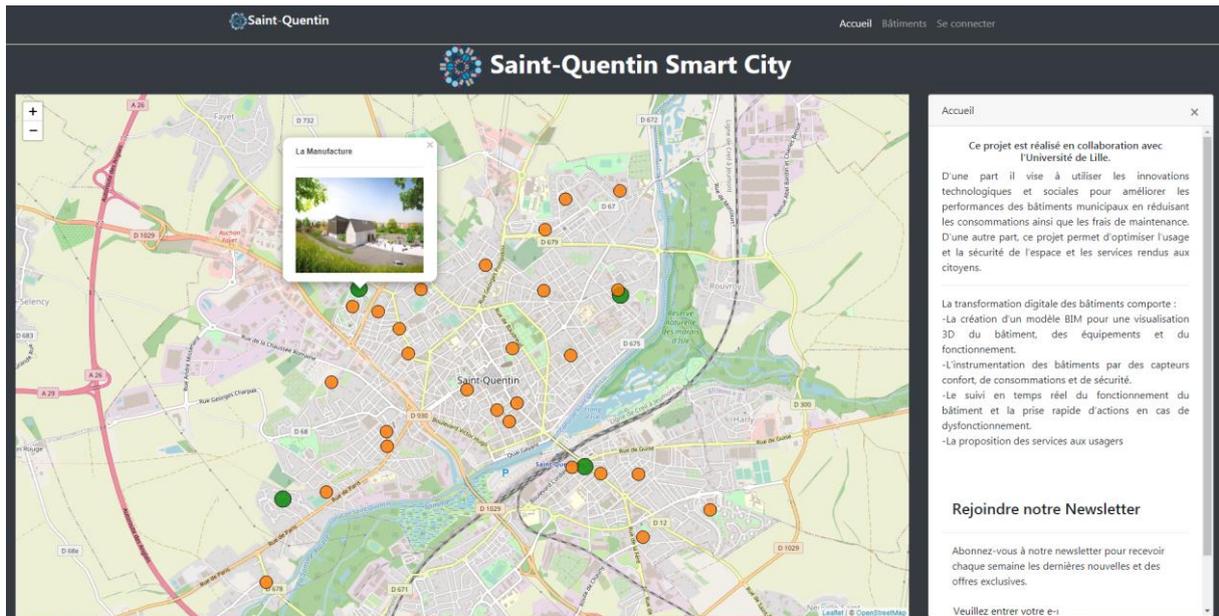


Figure 5-63: Page d'accueil de la plateforme Saint-Quentin Smart City



Figure 5-64: Page d'accueil du bâtiment "La Manufacture" sur la plateforme Saint-Quentin Smart City

5.5.1.1 Fonctionnement technique

Nous avons construit cette fonctionnalité autour de 6 axes :

1. La visite virtuelle du bâtiment (3D) (visite virtuelle du bâtiment (3D)Figure 5-65). Cette fonctionnalité permet une immersion dans le digital, à travers des outils de navigation reliés à la maquette BIM. Il est donc possible de découvrir l'intérieur du

bâtiment, de repérer l'emplacement des capteurs (lorsque les droits d'accès le permettent).

2. L'environnement intérieur du bâtiment (Figure 5-66) : Cette partie permet d'accéder aux paramètres de confort du bâtiment ou d'une salle. En effet, nous avons développé un programme capable de récupérer des données enregistrées par les capteurs de chaque paramètre de confort, et d'en calculer la moyenne toutes les 15 minutes. Le programme affiche, au final, seulement la moyenne dans la salle, qui comme nous l'avons vu précédemment (au point 5.3.6) est représentative de l'ambiance globale. Pour plus de détails, il est également possible de cliquer sur un capteur en particulier pour avoir l'historique d'enregistrement de ce dernier.
3. La surveillance et la gestion sécuritaire du bâtiment (Figure 5-67) : Cette section concerne les paramètres de sécurité ; à savoir l'état des portes (ouvertes ou fermées), ainsi que la détection de la présence. Comme nous pouvons le voir à la Figure 5-67, l'outil informe sur l'heure de la dernière présence, ainsi que l'heure du dernier accès par une porte. Une fois de plus, pour plus de détails, il est possible de cliquer sur un capteur précis pour avoir accès à l'historique d'enregistrement.
4. Les consommations (eau froide et chaude, électricité, gaz) (cette fonctionnalité n'a pas encore été implémentée)
5. La maintenance (cette fonctionnalité n'a pas encore été implémentée)
6. La réservation des salles (cette fonctionnalité n'a pas encore été implémentée)



Figure 5-65: visite virtuelle du bâtiment (3D)

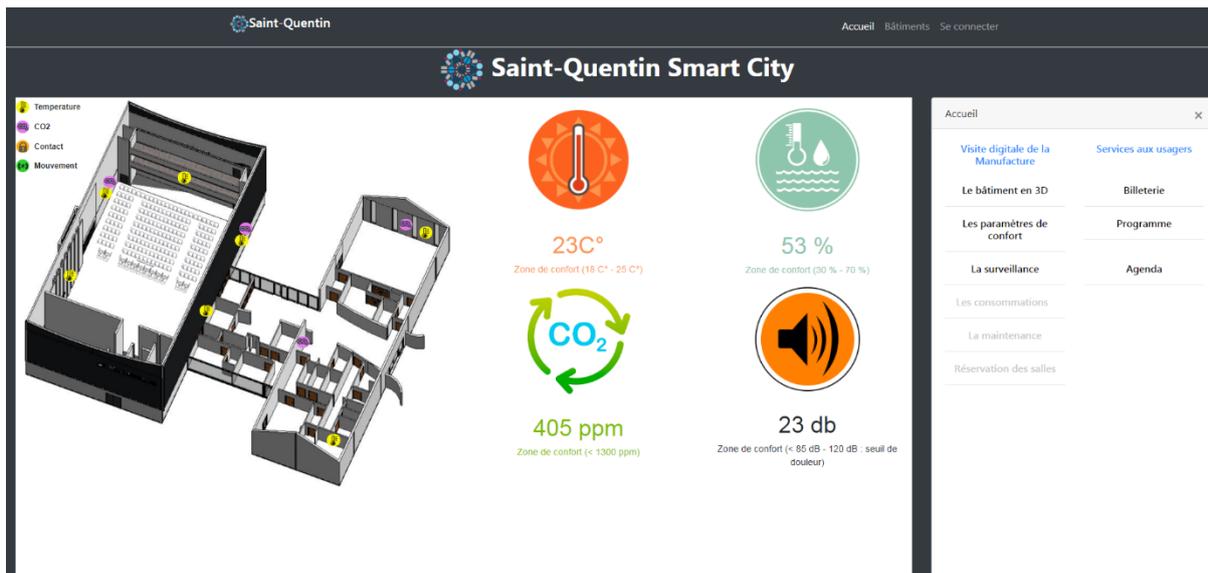


Figure 5-66: Environnement intérieur du bâtiment



Figure 5-67: Gestion sécuritaire du bâtiment

5.5.1.2 Services rendus aux citoyens

Cette section présente la seconde fonctionnalité liée à l'usage de chaque bâtiment. Dans ce cas, les services proposés tournent autour de la programmation et des différents spectacles prévus. Ainsi, nous donnons accès au système de vente des billets. De même, nous donnons accès à la programmation future dans la salle, ainsi que l'agenda d'occupation de la salle. L'ensemble de ces services existent déjà dans le site de la mairie. Nous avons simplement fourni un lien de redirection vers le site de la ville.

5.5.1.3 Droits d'accès

Il va de soi qu'un très grand nombre d'informations que nous mettons à disposition sont sensibles. L'outil de gestion, permet de définir, en concertation avec les responsables de la ville, différents niveaux de droits d'accès :

- Administrateur : ce profil est réservé au maire et aux élus,
- Gestionnaires : ce profil concerne les gestionnaires des bâtiments et les responsables des différents services techniques,
- Usager : ce profil est celui des habitants et usagers des bâtiments.

Pour accéder aux informations, la personne est invitée à s'identifier, et en fonction de son profil, les informations jugées utiles seront affichées en conséquence.

5.6 Conclusion

Ce chapitre a présenté une synthèse des travaux réalisés avec la ville de Saint Quentin sur le thème "bâtiments municipaux intelligents" avec deux sites pilotes : une salle de concert et une école maternelle et primaire. Les deux sites pilotes ont été instrumentés pour suivre les conditions de confort intérieur et la sécurité par rapport à l'intrusion.

Les données collectées ont permis de bien analyser les conditions de confort pendant les périodes d'usages et hors usage. Dans l'ensemble, le confort température-humidité est bien respecté, mais le confort lié à la qualité de l'air peut être médiocre en période d'usage intensif (spectacle,...).

Les mesures ont permis de quantifier l'effet de la récréation et du confinement sur la qualité de l'air dans l'école. Le travail avec l'équipe pédagogique de l'école a permis de mettre au profit le système installé et les mesures collectées pour un usage pédagogique.

Le travail dans son ensemble a montré la fiabilité du système d'instrumentation développé et utilisé ainsi que tout son intérêt pour la transformation des bâtiments municipaux existants en bâtiments intelligents.

Conclusion générale :

L'objectif du présent travail de recherche a été d'établir une méthodologie et de développer des outils pour le déploiement d'une solution Smart City dans le but d'apporter une réponse pertinente aux défis des villes.

La synthèse bibliographique a montré qu'un écart considérable existe entre la recherche et le déploiement réel de ce concept. Cet écart est lié à l'absence d'une vision claire et unanime du concept Smart City et au manque de retours d'expérience. Ce travail de recherche contribue à la réduction de cet écart à travers (i) le développement d'un cadre et d'une méthodologie pour le déploiement du concept smart city, qui est considéré comme une solution pertinente pour les défis de la Ville et (ii) le déploiement de ce concept dans une ville de taille moyenne.

La démarche de déploiement de la solution smart city comprend trois phases : (i) Une phase de diagnostic basée sur une concertation avec l'ensemble des acteurs de la ville pour identifier les défis de la ville, les classer et établir les priorités de la transformation smart city, (ii) une phase de projets pilotes pour tester à une échelle pertinente les composantes de la solution smart city et (iii) l'extension des projets pilotes à l'échelle de la ville.

La méthodologie établie a été appliquée à la ville de Saint-Quentin en France. La phase du diagnostic a permis d'analyser en profondeur les différentes facettes de la ville (démographie, emploi, scolarisation, infrastructures...). L'échange avec les acteurs de la ville, notamment les politiques, l'administration, les opérateurs des services urbains et la société civile a permis d'établir une feuille de route pour la transformation "Smart City" avec notamment l'identification des projets constitutifs de la solution smart city, le classement de ces projets et l'élaboration des projets pilotes.

Suite au choix de la ville de démarrer le projet Smart City par la transformation des bâtiments municipaux en bâtiments intelligents, le travail a porté sur le diagnostic des bâtiments municipaux et la mise en place des projets pilotes sur deux bâtiments présélectionnés. Une plateforme a été construite à l'échelle de la ville pour indiquer les bâtiments municipaux et informer sur les projets pilotes.

Le diagnostic des bâtiments municipaux a porté sur les performances énergétiques. Il a montré que les bâtiments sont dans l'ensemble anciens et nécessitent des travaux de rénovation thermique. L'usage de la smart technologie devrait aider à mieux comprendre le fonctionnement de ces bâtiments et à améliorer leurs performances.

La transformation des bâtiments municipaux en bâtiments intelligents a pour but d'améliorer la qualité de vie des occupants et des services rendus aux usagers, de réduire la consommation d'énergie et d'eau et enfin de réaliser des économies de fonctionnement. Deux sites pilotes ont été mis en œuvre. Une salle de concerts et de spectacles et un groupe scolaire maternelle et primaire. Un modèle BIM a été construit pour chaque bâtiment avec les données de gestion. Les deux bâtiments ont été instrumentés par des capteurs afin de mesurer les paramètres de confort (température, humidité, bruit, qualité de l'air, éclairage,), de consommation et de sécurité contre l'intrusion.

L'instrumentation de la salle de concert a permis de vérifier les conditions de confort dans la salle, notamment la température et la qualité de l'air et d'identifier des anomalies, notamment pendant les concerts.

L'instrumentation de l'école et les données collectées ont été utilisées avec les professeurs pour construire des ressources pédagogiques en complément au programme d'enseignement, avec des explications sur les notions de confort intérieur, de qualité de l'air et des méthodes de mesure. Nous avons montré que les instruments déployés ont diverses utilisations, à des niveaux hiérarchiques différents. En effet, l'installation d'un capteur de température ne se limite pas à remplacer un simple thermomètre. Ce capteur permet de : (i) Suivre en temps réel l'évolution de la température dans la pièce, (ii) Maintenir un niveau de confort thermique, (iii) Renseigner sur l'occupation ou non d'une pièce, (iv) Réguler l'utilisation du chauffage, (v) Stimuler et mobiliser les capacités intellectuelles et pratiques des élèves et (vi) Permet de sensibiliser et d'acquérir les bons réflexes et bonnes pratiques quant à l'utilisation du chauffage.

En perspective de ce travail de recherche, il est important de poursuivre les travaux entamés au niveau de la ville de Saint-Quentin, et d'élargir ce travail à d'autres villes avec l'objectif d'aller au-delà de l'instrumentation pure, en faisant de l'instrumentation une base d'un véritable projet social et économique.

Bibliographie

- Alawadhi, S., Aldama-Nalda, A., Chourabi, H., Gil-Garcia, J. R., Leung, S., Mellouli, S., Nam, T., Pardo, T. A., Scholl, H. J., & Walker, S. (2012). Building understanding of smart city initiatives. *Lecture Notes in Computer Science (Including Subseries Lecture Notes in Artificial Intelligence and Lecture Notes in Bioinformatics)*, 7443 LNCS, 40–53. https://doi.org/10.1007/978-3-642-33489-4_4
- Albino V, Umberto Berardi & Rosa Maria Dangelico (2015) Smart Cities: Definitions, Dimensions, Performance, and Initiatives, *Journal of Urban Technology*, 22:1, 3-21,
- Albino, V., Berardi, U., & Dangelico, R. M. (2015). Smart cities: Definitions, dimensions, performance, and initiatives. *Journal of Urban Technology*, 22(1), 3–21. <https://doi.org/10.1080/10630732.2014.942092>
- Alinezhad, A., & Khalili, J. (2019). MAUT Method. In *International Series in Operations Research and Management Science (Vol. 277)*. https://doi.org/10.1007/978-3-030-15009-9_18
- Alkandari, M. Alnasheet, and I.F. Alshekhly, “Smart Cities: Survey,” *Journal of Advanced Computer Science and Technology Research* 2: 2 (2012) 79–90.
- Amato V, L. Bloomer, A. Holmes, and S. Kondepudi, *Using ICT to Deliver Benefits to Cities by Enabling Smart+Connected Communities* (Smart+Connected Communities Institute, 2012)
- Angelidou M, “Smart Cities: A Conjunction of Four Forces,” *Cities*, 47 (2015) 95–106.
- Angelidou M., (2017): The Role of Smart City Characteristics in the Plans of Fifteen Cities, *Journal of Urban Technology*, DOI: 10.1080/10630732.2017.1348880
- Angelidou, M. (2017). The Role of Smart City Characteristics in the Plans of Fifteen Cities. *Journal of Urban Technology*, 24(4), 3–28. <https://doi.org/10.1080/10630732.2017.1348880>
- Angelidou, M., & Psaltoglou, A. (2018). Digital social innovation in support of spatial planning. An investigation through nine initiatives in three smart city programmes. *Spatium*, 3(39), 7–16. <https://doi.org/10.2298/SPAT1839007A>
- Angelidou, M., Psaltoglou, A., Komninos, N., Kakderi, C., Tsarchopoulos, P., & Panori, A. (2018). Enhancing sustainable urban development through smart city applications. *Journal of Science and Technology Policy Management*, 9(2), 146–169. <https://doi.org/10.1108/JSTPM-05-2017-0016>
- Anthopoulos, L. (2017). Smart utopia vs smart reality: Learning by experience from 10 smart city cases. *Cities*, 63, 128–148.

- Anthopoulos, L., & Fitsilis, P. (2010). From digital to ubiquitous cities: Defining a common architecture for urban development. In Proceedings of the 6th International Conference on Intelligent Environments (Kuala Lumpur, Malaysia, Jul 19-21).
- Anthopoulos, L., & Fitsilis, P. (2010). From digital to ubiquitous cities: Defining a common architecture for urban development. In Proceedings of the 6th International Conference on Intelligent Environments (Kuala Lumpur, Malaysia, Jul 19-21).
- Araujo J.A, Are ultrafine particles a risk factor for cardiovascular diseases? *Rev. Esp. Cardiol.* 64 (8) (2011) 642–645.
- Arbolino, R., Carlucci, F., Cira, A., Ioppolo, G., & Yigitcanlar, T. (2017). Efficiency of the EU regulation on greenhouse gas emissions in Italy: The hierarchical cluster analysis approach. *Ecological Indicators*, 81(1), 115–123.
- Arbolino, R., Carlucci, F., Cira, A., Yigitcanlar, T., & Ioppolo, G. (2018). Mitigating regional disparities through microfinancing: An analysis of microcredit as a sustainability tool for territorial development in Italy. *Land Use Policy*, 70(1), 281–288.
- Audrey Azoulay, directrice-générale de l'Unesco, Journée Internationale de l'alphabétisation, 8 septembre 2018
- Azlal, A., Shahrour, I., Aljer, A., & Soulhi, A. (2020a). Construction of A Smart City Roadmap, Application to A Medium Size City in France. 9(09), 156–161.
- Azlal, A., Shahrour, I., Aljer, A., & Soulhi, A. (2020b). Urban Diagnosis for the Design of Smart City Projects. 9(09), 663–667.
- Bach K.K, et al., Impact of diet-modulated butyrate production on intestinal barrier function and inflammation, *Nutrients* 10 (10) (2018).
- Baum, S., O'Connor, K., & Yigitcanlar, T. (2009). The implications of creative industries for regional outcomes. *International Journal of Foresight and Innovation Policy*, 5(1–3), 44–64.
- Berndtsson, R., Becker, P., Persson, A., Aspegren, H., Haghghatafshar, S., Jönsson, K., Tussupova, K. (2019). Drivers of changing urban flood risk: A framework for action. *Journal of Environmental Management*, 240, 47-56. doi:10.1016/j.jenvman.2019.03.094
- Bibri, S. E. (2018). A foundational framework for smart sustainable city development: Theoretical, disciplinary, and discursive dimensions and their synergies. *Sustainable Cities and Society*, 38(December 2017), 758–794. <https://doi.org/10.1016/j.scs.2017.12.032>
- Bruwier, M., Mustafa, A., Aliaga, D.G., Archambeau, P., Erpicum, S., Nishida, G., Zhang, X., Piroton, M., Teller, J., and Dewals, B. (2018). Influence of urban pattern on inundation flow in floodplains of lowland rivers. *Science of the Total Environment*. 622-623, 446-458.
- Bulletin de l'Organisation Mondiale de la Santé. Volume 88: Avril 2010, 241-320

- Castells, M. (1996). *Rise of the Network Society: The Information Age*. Cambridge, MA: Blackwell.
- Chen, S. M., & Han, W. H. (2018). An improved MADM method using interval-valued intuitionistic fuzzy values. *Information Sciences*, 467, 489–505. <https://doi.org/10.1016/j.ins.2018.07.062>
- Chin, K. S., Fu, C., & Wang, Y. (2015). A method of determining attribute weights in evidential reasoning approach based on incompatibility among attributes. *Computers and Industrial Engineering*, 87, 150–162. <https://doi.org/10.1016/j.cie.2015.04.016>
- Chourabi H., Nam, T., Walker, S., Gil-Garcia, J. R., Mellouli, S., Nahon, K., Pardo, T. A., & Scholl, H. J. (2012). Understanding smart cities: An integrative framework. *Proceedings of the Annual Hawaii International Conference on System Sciences*, 2289–2297. <https://doi.org/10.1109/HICSS.2012.615>
- Chourabi H., T. Nam, S. Walker, R.J. Gil-Garcia, S. Mellouli, K. Nahon, T.A. Pardo, and H.J. Scholl, “Understanding Smart Cities: An Integrative Framework,” in R.H. Sprague, ed., *Proceedings of the 45th Hawaii International Conference on System Sciences (HICSS) (Piscataway, NJ: IEEE, 2012) 2289–2297*.
- Citoyens d’une société numérique, accès, littératie, médiations : pour une nouvelle politique d’inclusion, (CNNum, rapport 2013)
- Dall’O, G., Bruni, E., Panza, A., Sarto, L., & Khayatian, F. (2017). Evaluation of cities’ smartness by means of indicators for small and medium cities and communities: A methodology for Northern Italy. *Sustainable Cities and Society*, 34(June), 193–202. <https://doi.org/10.1016/j.scs.2017.06.021>
- Dankers, R., Arnell, N. W., Clark, D. B., Falloon, P. D., Fekete, B. M., Gosling, S. N., Stacke, T. (2014). First look at changes in flood hazard in the Inter-Sectoral Impact Model Intercomparison Project ensemble. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 111(9), 3257–3261.
- Dankers, R., Arnell, N. W., Clark, D. B., Falloon, P. D., Fekete, B. M., Gosling, S. N., Stacke, T. (2014). First look at changes in flood hazard in the Inter-Sectoral Impact Model Intercomparison Project ensemble. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 111(9), 3257–3261.
- Dawes, S. S., Cresswell, A. M., & Pardo, T. A. (2009). From "need to know" to "need to share": Tangled problems, information boundaries, and the building of public sector knowledge networks. *Public Administration Review*, 69(3), 392–402.

- Dématérialisation et inégalités d'accès aux services publics, Défenseur des droits, rapport 2019
- Dutton, W. H. (1987). *Wired Cities: Shaping the Future of Communications*. London: Macmillan.
- Edvardsson, I. R., Yigitcanlar, T., & Pancholi, S. (2016). Knowledge city research and practice under the microscope: A review of empirical findings. *Knowledge Management Research and Practice*, 14(4), 537–564.
- Eremia M, Toma L, Sanduleac M. The smart city concept in the 21st century. In: 10th international conference Interdisciplinarity in engineering, INTERENG 2016, vol. 181; 2016. p.12-19. <https://doi.org/10.1016/j.proeng.2017.02.357>
- Escolar, S., Villanueva, F. J., Santofimia, M. J., Villa, D., Toro, X. del, & López, J. C. (2019). A Multiple-Attribute Decision Making-based approach for smart city rankings design. *Technological Forecasting and Social Change*, 142(May 2018), 42–55. <https://doi.org/10.1016/j.techfore.2018.07.024>
- Feng J., S. Cavallero, T. Hsiai, R. Li, Impact of air pollution on intestinal redox lipidome and microbiome, *Free Radical Biology and Medicine* (2020), doi: <https://doi.org/10.1016/j.freeradbiomed.2019.12.044>.
- Feng, B., & Lai, F. (2014). Multi-attribute group decision making with aspirations: A case study. *Omega (United Kingdom)*, 44, 136–147. <https://doi.org/10.1016/j.omega.2013.07.003>
- Fitch M.N, et al., Effects of inhaled air pollution on markers of integrity, inflammation, and microbiota profiles of the intestines in Apolipoprotein E knockout mice, *Environ. Res.* (2019) 108913.
- Fu, C., Zhou, K., & Xue, M. (2018). Fair framework for multiple criteria decision making. *Computers and Industrial Engineering*, 124(July), 379–392. <https://doi.org/10.1016/j.cie.2018.07.039>
- Grossi, G., & Pianezzi, D. (2017). Smart cities: Utopia or neoliberal ideology? *Cities*, 69, 79–85.
- Hashemkhani Zolfani, S., Yazdani, M., & Zavadskas, E. K. (2018). An extended stepwise weight assessment ratio analysis (SWARA) method for improving criteria prioritization process. *Soft Computing*, 22(22), 7399–7405. <https://doi.org/10.1007/s00500-018-3092-2>
- Heeney D.D, M.G. Gareau, M.L. Marco, Intestinal Lactobacillus in health and disease, a driver or just along for the ride? *Curr. Opin. Biotechnol.* 49 (2018) 140–147.
- Hollands R.G, “Will the Real Smart City Please Stand Up?” *City: Analysis of Urban Trends, Culture, Theory, Policy, Action* 12: 3 (2008) 303–320.

- INSEE PREMIERE N°1780 paru le 30/10/2019.
- Ioppolo, S., Cucurachi, S., Salomone, R., Saija, G., & Shi, L. (2016). Sustainable local development and environmental governance: A strategic planning experience. *Sustainability*, 8(2), 180.
- Joshi Sujata, Saxena Saksham, Godbole Tanvi, Shreya: Developing Smart Cities: An Integrated Framework, 6th International Conference on Advances on Computing & Communications, ICACC 2016, 6-8 September 2016, Cochin, India
- Joshi, S., Saxena, S., Godbole, T., & Shreya. (2016). Developing Smart Cities: An Integrated Framework. *Procedia Computer Science*, 93(September), 902–909. <https://doi.org/10.1016/j.procs.2016.07.258>
- Kaivonen S, E.C.-H. Ngai, Real-time air pollution monitoring with sensors on city bus, *Digital Communications and Networks*, <https://doi.org/10.1016/j.dcan.2019.03.003>.
- Karabasevic, D., Stanujkic, D., Urosevic, S., & Maksimovic, M. (2015). Selection of candidates in the mining industry based on the application of the SWARA and the MULTIMOORA methods. *Acta Montanistica Slovaca*, 20(2), 116–124. <https://doi.org/10.3390/ams20020116>
- Karabasevic, D., Stanujkic, D., Urosevic, S., & Maksimovic, M. (2016). An approach to personnel selection based on Swara and Waspas methods. *Bizinfo Blace*, 7(1), 1–11. <https://doi.org/10.5937/bizinfo1601001k>
- Keršulienė, V., Zavadskas, E. K., & Turskis, Z. (2010). Selection of Rational Dispute Resolution Method By Applying New Step-Wise Weight Assessment Ratio Analysis (Swara). *Journal of Business Economics and Management*, 11(2), 243–258. <https://doi.org/10.3846/jbem.2010.12>
- Komninos, N. (2009). Intelligent cities: Towards interactive and global innovation environments. *International Journal of Innovation and Regional Development*, 1(4), 337-355.
- Komninos, N., & Sefertzi, E. (2009). Intelligent cities: R&D offshoring, Web 2.0 product development and globalization of innovation systems. Paper presented at the Second Knowledge Cities Summit 2009.
- Komninos, N., Kakderi, C., Angelidou, M., & Mora, L. (2019). Exploring the relationship between smart cities and spatial planning: star cases and typologies. *Smart Cities in the Post-Algorithmic Era*, 3(January), 217–234. <https://doi.org/10.4337/9781789907056.00019>
- Kong, F., Ban, Y., Yin, H., James, P., Dronova, I., 2017. Modeling stormwater management at the city district level in response to changes in land use and low impact development. *Environ. Model. Softw* 95, 132–142. <https://doi.org/10.1016/j.envsoft.2017.06.021>.

- Koutra, S., Becue, V., & Ioakimidis, C. S. (2019). Searching for the 'smart' definition through its spatial approach. *Energy*, 169, 924–936. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2018.12.019>
- La Greca, P., & Martinico, F. (2016). Energy and spatial planning: A smart integrated approach. In R. Papa, & R. Fistola (Eds.). *Smart energy in the smart city: Urban planning for a sustainable future* (pp. 43–59). Berlin: Springer.
- Lazaroiu, G. C., & Roscia, M. (2012). Definition methodology for the smart cities model. *Energy*, 47(1), 326–332. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2012.09.028>
- Leach, J. M., Mulhall, R. A., Rogers, C. D. F., & Bryson, J. R. (2019). Reading cities: Developing an urban diagnostics approach for identifying integrated urban problems with application to the city of Birmingham, UK. *Cities*, 86(September), 136–144. <https://doi.org/10.1016/j.cities.2018.09.012>
- Lee J., M.G. Hancock, and M. Hu, “Towards an Effective Framework for Building Smart Cities: Lessons from Seoul and San Francisco,” *Technological Forecasting and Social Change* 89 (2014) 80–99
- Lee, S., Han, J., Leem, Y., & Yigitcanlar, T. (2008). Towards ubiquitous city: Concept, planning, and experiences in the Republic of Korea. In T. Yigitcanlar, K. Velibeyoglu & S. Baum (Eds.), *Knowledge-Based Urban Development: Planning and Applications in the Information Era* (pp. 148-169). Hershey, PA: IGI Global.
- Liu T, et al., Gut microbiota partially mediates the effects of fine particulate matter on type 2 diabetes: evidence from a population-based epidemiological study, *Environ. Int.* 130 (2019) 104882
- Liu, J., Shao, W., Xiang, C., Mei, C., Li, Z., Uncertainties of urban flood modeling: Influence of parameters for different underlying surfaces, *Environmental Research* (2020), doi: <https://doi.org/10.1016/j.envres.2019.108929>
- Livre Blanc « Contre l'illectronisme » Juin 2019
- Llamazares, B. (2019). Using interval weights in MADM problems. *Computers and Industrial Engineering*, 136(July), 345–354. <https://doi.org/10.1016/j.cie.2019.07.035>
- Lu, H. P., Chen, C. S., & Yu, H. (2019). Technology roadmap for building a smart city: An exploring study on methodology. *Future Generation Computer Systems*, 97, 727–742. <https://doi.org/10.1016/j.future.2019.03.014>
- M. O’Grady, and G. O’Hare, “How Smart Is Your City?” *Science* 335: 3 (2012) 1581–1582
- Malek, J. A. (2009). Informative global community development index of informative smart city. In *Proceedings of the 8th WSEAS International Conference on Education and Educational Technology* (Genova, Italy, Oct 17-19).

- Mark, O., Jørgensen, C., Hammond, M., Khan, D., Tjener, R., Erichsen, A., and Helwich, B. (2018). A new methodology for modelling of health risk from urban flooding exemplified by cholera–case Dhaka, Bangladesh. *Journal of Flood Risk Management*, 11, S28-S42.
- Martin, C., Evans, J., Karvonen, A., Paskaleva, K., Yang, D., & Linjordet, T. (2019). Smart-sustainability: A new urban fix? *Sustainable Cities and Society*, 45(February 2018), 640–648. <https://doi.org/10.1016/j.scs.2018.11.028>
- Mora, L., Bolici, R., & Deakin, M. (2017). The First Two Decades of Smart-City Research: A Bibliometric Analysis. *Journal of Urban Technology*, 24(1), 3–27. <https://doi.org/10.1080/10630732.2017.1285123>
- Mora, L., Deakin, M., & Reid, A. (2019). Strategic principles for smart city development: A multiple case study analysis of European best practices. *Technological Forecasting and Social Change*, 142(July 2018), 70–97. <https://doi.org/10.1016/j.techfore.2018.07.035>
- Mora, L., Deakin, M., Reid, A., & Angelidou, M. (2019). How to Overcome the Dichotomous Nature of Smart City Research: Proposed Methodology and Results of a Pilot Study. *Journal of Urban Technology*, 26(2), 89–128. <https://doi.org/10.1080/10630732.2018.1525265>
- Mutlu E.A, et al., Inhalational exposure to particulate matter air pollution alters the composition of the gut microbiome, *Environ. Pollut.* 240 (2018) 817–830.
- Nam, T., & Pardo, T. A. (2011). Conceptualizing smart city with dimensions of technology, people, and institutions. *ACM International Conference Proceeding Series*, 282–291. <https://doi.org/10.1145/2037556.2037602>
- Nazemi, A., & Madani, K. (2018). Urban water security: Emerging discussion and remaining challenges. *Sustainable Cities and Society*, 41, 925–928. doi:10.1016/j.scs.2017.09.011
- Nilssen, M. (2019). To the smart city and beyond? Developing a typology of smart urban innovation. *Technological Forecasting and Social Change*, 142(December 2017), 98–104. <https://doi.org/10.1016/j.techfore.2018.07.060>
- Nkwunonwo U.C, M. Whitworth , B. Baily , A review of the current status of flood modelling for urban flood risk management in the developing countries, *Scientific African* (2020), doi: <https://doi.org/10.1016/j.sciaf.2020.e00269>
- Nkwunonwo, U. C., (2016). A review of flooding and flood risk reduction in Nigeria. *Global Journal of Human Social Sciences*, 16(2), 23-42.
- Observatoire des services publics d'eau et d'assainissement - Panorama des services et de leur performance en 2014
- OCDE Skills Outlook 2019: Thriving in a Digital World, OCDE, 2019

- Paroutis S, M. Bennett, and L. Heracleous, “A Strategic View on Smart City Technology: The Case of IBM Smarter Cities During a Recession,” *Technological Forecasting and Social Change* 89 (2014) 262–272.
- Paskaleva K.A, “The Smart City: A Nexus for Open Innovation?” *Intelligent Buildings International* 3: 3 (2011) 153–171
- Pasquinelli, C., & Trun, M. (2020). Reframing urban overtourism through the Smart-City Lens. 102(April). <https://doi.org/10.1016/j.cities.2020.102729>
- Prudhomme, C., Giuntoli, I., Robinson, E. L., Clark, D. B., Arnell, N. W., Dankers, R., Hagemann, S. (2014). Hydrological droughts in the 21st century, hotspots and uncertainties from a global multimodel ensemble experiment. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 111(9), 3262–3267
- Relations aux usagers et modernisation de l’État : Progrès et limites de la modernisation numérique de l’État en France, Rapport de la Cour des comptes, 2016.
- Rogers, S. E. (2016). Bridging the 21st Century Digital Divide. *TechTrends*, 60(3), 197–199. <https://doi.org/10.1007/s11528-016-0057-0>
- Sairamesh, J., Lee, A., & Anania, L. (2004). Information cities. *Communications of the ACM*, 47(2), 28-31.
- Sokolov, A., Veselitskaya, N., Carabias, V., & Yildirim, O. (2019). Scenario-based identification of key factors for smart cities development policies. *Technological Forecasting and Social Change*, 148 (October 2018), 119729. <https://doi.org/10.1016/j.techfore.2019.119729>
- Sproull, L., & Patterson, J. F. (2004). Making information cities livable. *Communications of the ACM*, 47(2), 33-37.
- Streitz, N. (2009). Ambient intelligence landscapes for realizing the cities of the future: Introduction and overview. In *Proceedings of the 3rd European Conference on Ambient Intelligence* (Salzburg, Austria, Nov 18-21).
- Susanti, R., Soetomo, S., Buchori, I., & Brotosunaryo, P. M. (2016). Smart growth, smart city and density: In search of the appropriate indicator for residential density in Indonesia. *Procedia - Social and Behavioral Sciences*, 227, 194–201.
- Tamai H., “Fujitsu’s Approach to Smart Cities,” *FUJITSU Scientific & Technical Journal* 50: 2 (2014) 3–10.
- Tarhule, A. (2017). The Future of Water. *Competition for Water Resources*, 442–454. [doi:10.1016/b978-0-12-803237-4.00025-2](https://doi.org/10.1016/b978-0-12-803237-4.00025-2).

- Weber, E. P., & Khademian, A. M. (2008). Wicked problems, knowledge challenges, and collaborative capacity builders in network settings. *Public Administration Review*, 68(2), 334-349.
- Williams, M. (2010, Nov 18). 2010 digital cities survey winners announced. *Government Technology*.
- Willis, K. S., & Aurigi, A. (2017). *Digital and smart cities*. New York: Routledge.
- Winsemius, H.C., Aerts, J.C.J.H., van Beek, L.P.H., Bierkens, M.F.P., Bouwman, A., Jongman, B., Kwadijk, J.C.J., Ligtoet, W., Lucas, P.L., van Vuuren, D.P., Ward, P.J., 2016. Global drivers of future river flood risk. *Nat. Clim. Change* 6, 381–385.
- World Population Prospects 2019. United Nations, Department of Economic and Social Affairs, Population Division (2019).
- World Urbanization Prospects: The 2018 Revision
- Yigitcanlar, T., & Kamruzzaman, M. (2018). Does smart city policy lead to sustainability of cities? *Land Use Policy*, 73(January), 49–58. <https://doi.org/10.1016/j.landusepol.2018.01.034>
- Yigitcanlar, T., Guaralda, M., Taboada, M., & Pancholi, S. (2016). Place making for knowledge generation and innovation: Planning and branding Brisbane's knowledge community precincts. *Journal of Urban Technology*, 23(1), 115–146.
- Yigitcanlar, T., Guaralda, M., Taboada, M., & Pancholi, S. (2016). Place Making for Knowledge Generation and Innovation: Planning and Branding Brisbane's Knowledge Community Precincts. *Journal of Urban Technology*, 23(1), 115–146. <https://doi.org/10.1080/10630732.2015.1090198>
- Yigitcanlar, T., Kamruzzaman, M., Buys, L., Ioppolo, G., Sabatini-Marques, J., da Costa, E. M., & Yun, J. H. J. (2018). Understanding 'smart cities': Intertwining development drivers with desired outcomes in a multidimensional framework. *Cities*, 81(November 2017), 145–160. <https://doi.org/10.1016/j.cities.2018.04.003>
- Yigitcanlar, T., Kamruzzaman, M., Foth, M., Sabatini-Marques, J., da Costa, E., & Ioppolo, G. (2019). Can cities become smart without being sustainable? A systematic review of the literature. *Sustainable Cities and Society*, 45(June 2018), 348–365. <https://doi.org/10.1016/j.scs.2018.11.033>
- Yovanof, G. S., & Hazapis, G. N. (2009). An architectural framework and enabling wireless technologies for digital cities & intelligent urban environments. *Wireless Personal Communications*, 49(3), 445-463.

- Yücenur, G. N., Çaylak, Ş., Gönül, G., & Postalciöğlu, M. (2020). An integrated solution with SWARA&COPRAS methods in renewable energy production: City selection for biogas facility. *Renewable Energy*, 145, 2587–2597. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2019.08.011>
- Zanella, N. Bui, A. Castellani, L. Vangelista, & M. Zorzi, “Internet of Things for Smart Cities,” *IEEE Internet of Things Journal* 1: 1 (2014) 22–32.
- Zhang, K., Chui, T.F.M., Yang, Y., 2018. Simulating the hydrological performance of low impact development in shallow groundwater via a modified SWMM. *J. Hydrol.* 566, 313–331