

UNIVERSITÉ DU QUÉBEC À MONTRÉAL

COÉVOLUTION DES VILLES INTELLIGENTES ET L'INTERNET DES  
OBJETS : CAS DE LA VILLE DE MONTREAL

MÉMOIRE

PRÉSENTÉ

COMME EXIGENCE PARTIELLE

DE LA MAÎTRISE EN TECHNOLOGIE DE L'INFORMATION

PAR

ERIND KATUNDI

MAI 2018

UNIVERSITÉ DU QUÉBEC À MONTRÉAL  
Service des bibliothèques

Avertissement

La diffusion de ce mémoire se fait dans le respect des droits de son auteur, qui a signé le formulaire *Autorisation de reproduire et de diffuser un travail de recherche de cycles supérieurs* (SDU-522 – Rév.07-2011). Cette autorisation stipule que «conformément à l'article 11 du Règlement no 8 des études de cycles supérieurs, [l'auteur] concède à l'Université du Québec à Montréal une licence non exclusive d'utilisation et de publication de la totalité ou d'une partie importante de [son] travail de recherche pour des fins pédagogiques et non commerciales. Plus précisément, [l'auteur] autorise l'Université du Québec à Montréal à reproduire, diffuser, prêter, distribuer ou vendre des copies de [son] travail de recherche à des fins non commerciales sur quelque support que ce soit, y compris l'Internet. Cette licence et cette autorisation n'entraînent pas une renonciation de [la] part [de l'auteur] à [ses] droits moraux ni à [ses] droits de propriété intellectuelle. Sauf entente contraire, [l'auteur] conserve la liberté de diffuser et de commercialiser ou non ce travail dont [il] possède un exemplaire.»

## REMERCIEMENTS

«I find the great thing in this world is not so much where we stand, as in what direction we are moving »

Oliver Wendel Holmes, Sr

Cette citation résume bien le fond et la forme de cette recherche.

Sur le fond, tout d'abord, les outils offerts par les technologies de l'internet des objets ne sont pas une finalité en soi. Leurs développements donneront « des » directions aux villes pour les projets et services de demain.

Sur la forme, ensuite, je tiens à remercier les personnes qui m'ont poussé tout au long de ce mémoire vers la bonne direction. Le professeur Ygal Bendavid, en tant que directeur de recherche et conseiller avisé, pour son encadrement sans faille et sa motivation qu'il a su me faire partager à des étapes clés pour moi.

Je remercie également tous ceux qui m'ont accordé un peu de leur temps et m'ont offert une contribution essentielle à l'accomplissement de ce travail.

Je voudrais particulièrement remercier les membres du bureau de la ville intelligente de Montréal pour leur aide et les échanges que nous avons pu avoir.

J'exprime ma gratitude au département de Management de la Technologie de l'ESG-UQAM pour m'avoir accompagné dans le cheminement de ce projet.

Finalement, je dédie ce travail à ma mère, mon père et mon frère pour le soutien et l'aide qu'ils m'ont toujours accordé.

## TABLE DES MATIÈRES

REMERCIEMENTS .....	II
LISTE DES FIGURES.....	VII
LISTE DES TABLEAUX.....	X
LISTE DES ABBRÉVIATIONS .....	XII
RÉSUMÉ .....	XIII
SUMMARY .....	XIV
INTRODUCTION .....	1
CHAPITRE 1	
PROBLÉMATIQUE, QUESTIONS ET OBJECTIFS DE RECHERCHES .....	4
1.1 Problématique de recherche.....	4
1.2 Questions de recherche .....	8
1.3 Objectifs de recherche .....	10
CHAPITRE 2	
REVUE DE LITTÉRATURE .....	11
2.1 La Ville Intelligente (VI) .....	11
2.1.1 Définition macro de la VI.....	12
2.1.2 Définition micro de la VI .....	15
2.2 L'internet des objets (IoT).....	18
2.2.1 Le concept de l'internet des objets.....	18
2.2.2 Les composantes de l'internet des objets .....	19
2.3 La coévolution de la ville intelligente et de l'internet des objets .....	22
2.3.1 L'évolution des services de la VI.....	23
2.3.2 L'évolution des technologies de l'IoT .....	26

### CHAPITRE 3

CADRE MÉTHODOLOGIQUE .....	33
3.1 Choix de l'étude de cas.....	36
3.2 Réalisation de l'étude de cas.....	41
3.2.1 Établir la pertinence de l'étude de cas.....	41
3.2.2 Assurer la véracité des résultats .....	43
3.2.3 La préparation .....	44
3.2.4 Le recrutement du cas .....	45
3.2.5 La collecte des données.....	47
3.2.6 Le traitement et interprétation des données.....	48
3.2.7 L'analyse et l'interprétation des données.....	49
3.2.8 Diffusion des résultats.....	50

### CHAPITRE 4

MODÈLE D'ANALYSE DE LA COÉVOLUTION DE LA VI ET DE L'IOT .....	51
4.1 Structure du modèle de coévolution .....	53
4.2 Thèmes majeurs de la matrice de coévolution (colonnes).....	54
4.3 Les critères d'évaluation des niveaux d'évolution de services dans la VI .....	57
4.4 Les niveaux de coévolution de la VI et de l'IoT .....	59
4.4.1 Niveau 0 : Primitif.....	59
4.4.2 Niveau 1 : Digitalisation .....	60
4.4.3 Niveau 2 : Automatisation.....	62
4.4.4 Niveau 3 : Dynamique.....	64
4.4.5 Niveau 4 : Optimisation .....	66

### CHAPITRE 5

PRÉSENTATIONS DES TROIS PROJETS DANS LA VI.....	69
5.1 Projet 1 : Gestion des espaces de stationnement urbain .....	69
5.1.1 Contexte de la gestion des espaces de stationnement urbain .....	70
5.1.2 Évolution de la gestion des espaces de stationnement urbain .....	72
i. Niveau 0 : Primitif .....	59
ii. Niveau 1 : Digitalisation .....	60
iii. Niveau 2 : Automatisation .....	62

iv.	Niveau 3 : Dynamique .....	64
v.	Niveau 4 : Optimisation .....	66
5.1.3	Bilan de l'évolution de la gestion des espaces de stationnement urbain..	91
5.2	Projet 2 : Gestion des horaires de bus.....	92
5.2.1	Contexte de la gestion des horaires de bus.....	92
i.	Niveau 0 : Primitif .....	59
ii.	Niveau 1 : Digitalisation .....	60
iii.	Niveau 2 : Automatisation .....	62
iv.	Niveau 3 : Dynamique .....	64
v.	Niveau 4 : Optimisation .....	66
5.2.2	Évolution de la gestion des horaires de bus .....	94
5.2.3	Bilan de l'évolution de la gestion des horaires de bus .....	107
5.3	Projet 3 : Gestion de la relève de la consommation électrique d'un logement	108
5.3.1	Contexte de la relève de la consommation électrique d'un logement....	108
5.3.2	Évolution de la relève de la consommation électrique d'un logement ..	109
i.	Niveau 0 : Primitif .....	59
ii.	Niveau 1 : Digitalisation .....	60
iii.	Niveau 2 : Automatisation .....	62
iv.	Niveau 3 : Dynamique .....	64
v.	Niveau 4 : Optimisation .....	66
5.3.3	Bilan de l'évolution de la relève de la consommation électrique d'un logement .....	121
CHAPITRE 6		
CAS DE LA VILLE DE MONTRÉAL .....		
6.1	Ville de Montréal .....	122
6.1.1	Situation de la ville .....	123
6.1.2	Organisation de la ville intelligente.....	126
6.1.3	Initiative en tant que ville intelligente .....	127
6.2	Positionnement de la Ville de Montréal sur la gestion des espaces de stationnement urbain.....	128

6.2.1	Contexte de la gestion des espaces de stationnement urbain à Montréal .....	128
6.2.2	Positionnement de Montréal pour la gestion des espaces de stationnement urbain.....	129
6.2.3	Trajectoire d'évolution pour la gestion des espaces de stationnement à Montréal .....	133
6.3	Positionnement de la Ville de Montréal sur la gestion des horaires de bus .....	135
6.3.1	Contexte de la gestion des horaires de bus à Montréal .....	135
6.3.2	Positionnement de Montréal dans la gestion des horaires de bus .....	135
6.3.3	Trajectoire d'évolution pour la gestion des horaires de bus à Montréal	140
6.4	Positionnement de la Ville de Montréal sur la relève de la consommation électrique.....	142
6.4.1	Contexte de relève de la consommation électrique à Montréal .....	142
6.4.2	Positionnement de Montréal pour la relève de la consommation électrique .....	143
6.4.3	Trajectoire d'évolution de la relève de la consommation électrique à Montréal .....	146
	CONCLUSION .....	147
	BIBLIOGRAPHIE .....	157
	ANNEXES .....	166

## LISTE DES FIGURES

Figure	Page
1.1 Hype Cycle sur l'émergence des technologies (Gartner 2015B) .....	7
2.1 Les éléments de l'IoT (Al-Fuqaha et al., 2015) p.2350 .....	19
2.2 Les cinq couches de l'IoT(Khan et al., 2012) p.259 .....	26
2.3 Architecture 5C du CPS p.20 (Lee et al., 2015).....	30
3.1 Identification des méthodes et extraits de recherche.....	34
3.2 Huit étapes de réalisation d'une étude de cas extrait de Gagnon (2012) .....	39
4.1 Modèle initial de coévolution de l'IoT et de la VI.....	52
5.1 Parcètres simples (Chicago, États-Unis) et doubles (Biberach, Allemagne).....	73
5.2 Modèle MP 8008 1984 de Cale Access (source : Caleaccess.com).....	74
5.3 Exemple de ticket de stationnement produit (Paris et Montréal) .....	75
5.4 Borne Strada Évolution (Paris, France) et l'application MyParkfolio .....	80
5.5 Schéma d'une installation pour le stationnement en voirie (Banner) .....	81
5.6 Architecture réseau avec modules MultiHop Data Radio (Banners) .....	82
5.7 Modèle RugGear 730 (gauche) et X7 SmartPad (droite) de Schweers.....	83
5.8 Interface utilisateur de la solution AutoVu par Genetec (p.2) .....	84
5.9 Tableau de bord ConnectedDrive avec application ParkNow .....	87
5.10 Capture de l'application Path to Park (Parkeon).....	90
5.11 Répartition par moyen de transport des trajets (Statistique Canada) .....	93

5.12 Grille horaire de la ligne Orlybus (Paris).....	96
5.13 Chronomètre numérique Leap.....	98
5.14 Schéma illustrant le fonctionnement du GPS.....	100
5.15 Centrale de coordination CDTA et son application mobile .....	103
5.16 Ecran d'affichage application du SIEL RATP France .....	103
5.17 Options de parcours : Best route, Fewer Transfers ,Less Walking (Maps) .....	106
5.18 Capture d'écran de l'application Citymapper .....	107
5.19 Relève de compteur électromécanique.....	109
5.20 Affichage digitale de la consommation.....	111
5.21 Relève de compteur par l'app ginstr par double validation .....	113
5.22 Reconnaissance par QR code compteur PM5000 (Schneider-Electric).....	115
5.23 Fonctionnement du dispositif Linky (EDF) .....	118
5.24 Architecture de Smart Grid (Gungor et al., 2011 p.2) .....	120
6.1 Strate gouvernementale pouvant impacter un projet de VI.....	125
6.2 Organigramme simplifié de la ville de Montréal (16 Nov 2017).....	126
6.3 Répartition des projets VI initiés par Montréal .....	127
6.4 Panonceau de stationnement à Montréal.....	129
6.5 Borne de paiement Payez-Partez à Montréal .....	130
6.6 Étapes d'utilisation de l'application P \$ Service.....	130
6.7 Reconnaissance des horaires de stationnement.....	134
6.8 Centre de contrôle pour iBus (photo Jason Magder) .....	136
6.9 Affichage en station et à bord des bus .....	137
6.10 Tableau comparatif réalisé par d'Ascend Worldwide (Lamigeon 2013).....	140
6.11 Compteur intelligent Hydro-Québec (Gridstream RF LandisGyr) .....	143
6.12 Architecture de la lecture à distance d'Hydro-Québec (Perron and Doré (2013) .....	144

7.1 Modèle de coévolution de la VI et de l'IoT (affinée) ..... 149

## LISTE DES TABLEAUX

Tableau	Page
1.1	Trois phases de la Computerization de Singapour (Choo, 1997) ..... 6
2.1	IDC MaturityScape (Clarke & Brooks, 2015) ..... 23
2.2	Modèle de maturité des services (adapté deTalon (2012)) ..... 24
2.3	Maturité de la mobilité urbaine adaptée de Mehlhorn (2015) ..... 25
2.4	Niveaux des TRL selon Rybicka et al. (2016) p.1004 ..... 27
2.5	IoTMM (adapté de Shan, 2015)..... 28
3.1	Échantillonnage des entrevues sur matrice ..... 35
3.2	Tactique pour l'étude de cas ..... 38
3.3	Guide de réalisation de l'étude de cas par Gagnon (p.5-9)..... 40
3.4	Calendrier des conférences ISC2 passées ..... 42
3.5	Poste des responsables de la VI interrogé..... 45
3.6	Les projets étudiés dans la ville de Montréal ..... 46
4.1	Structure du modèle de coévolution de la VI et de l'IoT (théorique)..... 54
4.2	Structure des caractéristiques pour chaque niveau ..... 55
4.3	Niveau 0 de la matrice de coévolution de la VI et l'IoT..... 60
4.4	Niveau 1 de la matrice de coévolution de la VI et l'IoT..... 61
4.5	Niveau 2 de la matrice de coévolution de la VI et l'IoT..... 63
4.6	Niveau 3 de la matrice de coévolution de la VI et l'IoT..... 65
4.7	Niveau 4 de la matrice de coévolution de la VI et l'IoT..... 67

5.1	Bénéfice de la gestion des espaces de stationnement (Litman 2007) .....	71
5.2	Niveau 0 Gestion des espaces de stationnements urbains .....	73
5.3	Niveau 1 Gestion des espaces de stationnements urbains .....	76
5.4	Niveau 2 Gestion des espaces de stationnements urbains .....	79
5.5	Niveau 3 Gestion des espaces de stationnements urbains .....	86
5.6	Niveau 4 Gestion des espaces de stationnements urbains .....	89
5.7	Niveau 0 Gestion des horaires de bus .....	95
5.8	Niveau 1 Gestion des horaires de bus .....	97
5.9	Niveau 2 Gestion des horaires de bus .....	99
5.10	Niveau 3 Gestion des horaires de bus .....	102
5.11	Niveau 4 Gestion des horaires de bus .....	105
5.12	Niveau 0 Gestion de relève de la consommation électrique .....	110
5.13	Niveau 1 Gestion de relève de la consommation électrique .....	112
5.14	Niveau 2 Gestion de relève de la consommation électrique .....	115
5.15	Niveau 3 Gestion de relève de la consommation électrique .....	117
5.16	Niveau 4 Gestion de relève de la consommation électrique .....	119
6.1	Carte des arrondissements de Montréal .....	123
6.2	Positionnement de la solution Payez-Partez .....	131
6.3	Positionnement de la solution P\$ Service .....	132
6.4	Solution IBus en cours d'installation .....	138
6.5	Solution classique de gestion des horaires .....	139
6.6	Solution compteur intelligent par Hydro .....	145
7.1	Principale partie prenante dans le cas de Montréal .....	153

## LISTE DES ABBRÉVIATIONS

CPS	Cyber Physical System
EPC	Electronic Product Code
HVAC	Heating, ventilation and air-conditioning
IDC	International Data Corporation
IERC	European Research Cluster on the Internet of Things
IoT	Internet of Things (Internet des objets)
IoTMM	IoT Maturity Model
IP	Internet Protocol
KPI	Key Performance Indicator
MDMS	Meter Data Management System
M2M	Machine to machine
NFC	Narrow Fied Communication
OWL	Web Ontology Language
RFID	Identification par radio-fréquence
SE	Smart Economy
SEn	Smart Environment
SG	Smart Governance
SL	Smart Living
SM	Smart Mobility
SP	Smart People
TIC	Technologie de l'information et des technologies
TRL	Technology Readiness Level
Uid	Ubiquitous Identifier
VI	Ville intelligente
W3C	World Wide Web Consortium

## RÉSUMÉ

La gestion de villes de plus en plus peuplées implique de nouveaux enjeux : économique, social et environnemental. Les services offerts par les villes doivent évoluer pour créer des villes intelligentes (VI). Grâce à l'émergence de l'Internet des objets (IoT) comme technologie de soutien dans les dernières années, les services ont pu évoluer. Cette recherche porte sur la compréhension des liens qui existent entre l'évolution des villes et de l'internet des objets. Notre objectif est de développer un modèle structuré de la coévolution de la VI et de l'IoT afin d'appréhender cette coévolution. Bien que la littérature propose des modèles d'analyse pour la VI et pour l'IoT, peu proposent un modèle intégré entre les deux phénomènes.

Notre méthodologie repose sur l'étude du cas de la ville de Montréal. Premièrement, un modèle structuré initial qui s'appuie sur l'analyse des modèles d'évolution dans la VI et l'IoT proposées dans la littérature scientifique et professionnelle a été développé. Ce modèle a été affiné par l'étude de trois projets (horaire de bus, espace de stationnement urbain, relève électrique) dans un contexte général et dans le cas de Montréal.

Le résultat de notre recherche s'illustre par un modèle structuré de coévolution de la VI et de l'IoT en cinq niveaux (primitif, digital, automatisation, dynamique et optimisation) définis par quinze critères liés à la maturité des services et la maturité des technologies de l'IoT utilisées. L'influence de facteurs transverses a également été identifiée tels que la gouvernance, la recherche de standard et l'éthique.

Mots clés : Ville intelligente, Internet des Objets, Modèle d'évolution

## SUMMARY

The management of increasingly populated cities involves new challenges from an economic, social and environmental perspective. This forces cities to evolve and create innovative services, raising the concept of smart cities (SC).

In parallel, the emergence of the Internet of Things (IoT) technologies and applications has enabled such innovative services.

Although some models are available in the literature most of them explain the evolution of one phenomenon or another, but very few researches are looking at the co-evolution between the two phenomena. Hence, our research focuses on understanding the links between the coevolution of smart cities and the Internet of Things. Our goal is to develop an integrated model to understand this coevolution.

First, thanks to scientific and professional literature on smart cities and the Internet of Things, we propose an initial structured model. This model is then revised through three projects (i) bus schedule services (ii) urban parking services (iii) electric meter management. A case study approach is then used in the city of Montreal to explore in more detail this co-evolution using our model in a very specific context. Critical variables are then identified to improve the model.

The result of our research is illustrated by an integrated model presenting the coevolution of smart cities and the Internet of Things. The model is structured in five levels (primitive, digital, automation, dynamic and optimization) using fifteen criteria respectively related to the maturity of services and technology. The influence of transversal factors have also been identified such as governance, standard-setting and ethics.

Key words : Smart City, Internet of Things, Evolution model

## INTRODUCTION

Le 21<sup>e</sup> siècle est le siècle de la ville. En 2014, 54% de la population mondiale vivait en ville selon les Nations Unies (United Nations, 2014). Accentué par l'exode rural du 20<sup>e</sup> siècle, le développement des villes a connu un bouleversement qui a conduit au remodelage du paysage urbain. Selon les Nations Unies, cette tendance va s'amplifier avec l'émergence de mégas-villes de plus de 20 millions d'habitants en Asie, Amérique latine ou Afrique.

Cette rapide croissance des villes a généré de nombreux problèmes tels que la congestion urbaine, la pollution et l'accroissement des inégalités sociales (H. M. Kim & Han, 2012). Ces problèmes ont des impacts économiques, sociaux et environnementaux auxquels les villes vont devoir faire face. Dès aujourd'hui, de nombreux services dans la ville ont su s'adapter et évoluer pour faire face à ces défis.

Ainsi, depuis les trente dernières années les villes se sont appuyées sur les technologies de l'information (TIC) pour bâtir des solutions efficaces afin de répondre aux nouveaux besoins (Batty, 1990, 2012). Le concept de ville intelligente (VI) a émergé de cette situation et de plus en plus de villes à travers le monde adoptent diverses technologies émergentes pour livrer des services novateurs aux citoyens (Edwards, 2013).

La VI représente un potentiel économique incroyable. Le cabinet Frost & Sullivan l'estime à 1.56 billion de dollars US en 2020. Il ne ferait qu'augmenter compte tenu des enjeux que représente la gestion des villes pour les décennies qui viennent (Frost&Sullivan, 2014). De leur côté, les TIC ont également évolué depuis leur

incorporation dans les affaires des villes (Batty, 1990). La collecte de données est devenue un enjeu majeur. « Data is the new Oil » disait Clive Humby, l'un des instigateurs des cartes de fidélité chez Tesco. De ce fait, les TIC se sont adaptées pour offrir une variété de solutions de collecte de données.

L'émergence de l'Internet of Things (IoT) résulte de ce besoin de numérisation du monde réel (Miller & Mork, 2013). L'IoT est un concept où une multitude d'objets sont connectés entre eux à travers différents protocoles et réseaux de communication. Selon le cabinet Gartner, c'est un phénomène émergent et très prometteur qui devrait prendre de l'importance dans les 5 à 10 prochaines années. L'évolution de l'IoT conduit à une maturité de la technologie permettant une intégration « simple » dans différents projets (Bendavid, Fosso Wamba, & Barjis, 2013). Aujourd'hui, l'introduction de l'IoT dans les applications de la VI ne fait plus de doute. Le marché des objets connectés devrait exploser d'ici 2020 selon Cisco, Gartner ou IDC avec comme projections respectives 50 milliards (Cisco, 2016), 20.8 milliards (Gartner, 2015A) et 29.5 milliards (IDC, 2015). L'intégration des données récoltées par ces objets va faire évoluer les services proposés par la ville et ainsi la transformer en VI.

Les évolutions de la VI et de l'IoT se font en parallèle, au fur et à mesure de l'introduction de nouvelles (a) technologies de capture des données et dispositifs de communication (b) nouveaux protocoles et réseaux de communications (c) de nouvelles plateformes applicatives, etc. L'analyse de l'intrication entre ces deux évolutions permettrait de mieux comprendre le décalage entre les technologies requises et les scénarios de services envisagés, actuels et émergents.

Ce mémoire se propose donc d'analyser la coévolution entre l'IoT et la VI. Bien que leurs évolutions soient intimement liées, actuellement dans la littérature nous retrouvons très peu d'articles qui analysent de manière structurée cette coévolution. Dans les faits, il existe plusieurs modèles d'évolution de la VI d'une part et de l'IoT d'autre part, nous ne retrouvons pas de modèle intégré, comme si chaque domaine

suivait sa propre évolution, sa propre trajectoire technologique, indépendamment l'un de l'autre.

Dans ce mémoire, le chapitre 1 expose la problématique de recherche en incluant les objectifs de la recherche.

Le chapitre 2 présente une revue de la littérature afin de comprendre les concepts clés liés à l'IoT et à la VI et le besoin de lien entre les évolutions.

Le chapitre 3 présente la méthodologie qui a été choisie pour atteindre les objectifs précédemment déterminés.

Le chapitre 4 présente le modèle d'analyse de coévolution de la VI et de l'IoT et les cas d'analyse.

Le chapitre 5 présente trois projets dans la VI exploitant l'IoT et leurs répercussions sur notre modèle d'analyse.

Le chapitre 6 se focalise sur la gestion par la ville de Montréal des trois projets que nous avons sélectionnés.

Les réponses à nos questions de recherche et la contribution finale sont exposées dans la dernière section conclusive.

## CHAPITRE 1

### PROBLÉMATIQUE, QUESTIONS ET OBJECTIFS DE RECHERCHES

Dans ce chapitre nous allons expliquer les raisons qui amènent à s'interroger sur la coévolution entre l'IoT et de la VI pour en formaliser la problématique dont nous dégagerons les questions et des objectifs de recherche.

Cette coévolution doit être étudiée, car face à la multiplication de projets de VI, le lien entre les services offerts et l'IoT est l'élément déterminant du succès d'un projet.

Comprendre la coévolution des services dans les VI et des technologies de l'IoT permettra non seulement de mieux positionner les projets, d'évaluer le réalisme de la solution innovante/des nouveaux services proposés et d'identifier clairement et de manière structurée les technologies IoT de soutien à la mise en place de tels services.

Il faut pouvoir situer la maturité des technologies IoT et des services de VI selon leur potentiel de réalisation et faire la part des choses entre les projets VI actuellement réalisables, émergents ou bien futuristes.

#### 1.1 Problématique de recherche

Un nombre croissant de villes à travers le monde adoptent tous les jours diverses technologies de l'IoT pour livrer des services novateurs aux citoyens (Edwards, 2013). Depuis les travaux précurseurs de Batty (1990) sur les villes dites « intelligentes » ou « smart » et sur les premières initiatives dans ce sens telles que IT2000 à Singapour (Choo, 1997), de multiples technologies ont émergé et se sont

ajoutées au portfolio des choix technologiques. Celles-ci incluent notamment (i) des technologies de capture automatique des données (p.ex, code-barres, QR labels, tags RFID, dispositifs portables Bluetooth), (ii) des réseaux de communications sans fil et (iii) leur infrastructure de soutien (p.ex., lecteurs, antennes, modules GPRS), des dispositifs mobiles (téléphones intelligents) ainsi qu'une quantité croissante de plateformes pour soutenir les applications émergentes. Bien que la plupart des projets initiaux aient misé sur le transport (public et privé) ou sur des initiatives dans le secteur des utilités publiques, aujourd'hui, avec l'avènement de l'IoT, la fenêtre d'opportunités a augmenté de manière exponentielle. Toutefois, dans un contexte de budget limité, cette situation a rendu la tâche complexe pour les gestionnaires des villes qui doivent (a) miser sur les applications les plus porteuses pour leurs villes et (b) sélectionner les technologies les plus appropriées pour soutenir ces applications qui doivent être pérennes.

Le problème soulevé par cette recherche concerne ainsi une large majorité de la population mondiale qui vit au sein de villes de plus en plus peuplées. Cela implique une modification de la vie des citoyens et des gestionnaires des villes qui font face à de nouveaux défis. La gestion des villes se complexifie et oblige à l'utilisation de nouveaux outils permettant d'assurer la sécurité et une meilleure qualité de services rendus aux citoyens. La capacité des ressources municipales à fournir manuellement des services aux citoyens apparaît être limitée.

Par exemple, dès les années 1980, la ville de Singapour se rend compte de l'impossibilité de gérer, à la fois, une population croissante et d'assurer des services de qualité (Batty, 1990; Cordeiro & Al-Hawamdeh, 2001; Hatch, 2013). C'est dans ce contexte que le projet IT2000 Singapour (Choo, 1997) voit alors le jour et symbolise l'émergence de la VI : « une ville entièrement équipée d'un réseau TIC pour gagner un avantage compétitif » (Batty, 1990).

Cette mutation des services de la ville s'est faite de manière progressive en plusieurs étapes (Tableau 1.1).

Tableau 1.1 Trois phases de la Computerization de Singapour (Choo, 1997)

Period	IT Plan	Target Groups	Strategic Goals	Enabling Technologies
1980-1985	Civil Service Computerization Programme	Public Sector : Government ministries, department	Raise productivity Improve service Develop IT manpower	Transaction processing, Data modeling, Database management systems
1986-1990	National IT Plan	Private Sector : IT Industry, Local Companies	Develop local IT industry Promote business use of IT, IT R&D	Software Engineering, Expert Systems, Electronic data interchange
1991-2005	IT2000	Industry Sector, Communities, Individuels	Increase National Competiveness, Improve quality of life	Broadband networks, Multimedia, Telecomputing

La première étape introduit une numérisation des documents publics et leurs disponibilités au format numérique (Civil Service Computerization Programme Plan). La seconde étape propose l'expansion du projet au secteur privé avec l'introduction d'échange de données informatisées (National IT Plan). Enfin, la dernière étape consiste à connecter les citoyens à ces systèmes en connectant maisons, écoles et bureaux (IT2000) (Cordeiro & Al-Hawamdeh, 2001). Ainsi, l'intégration des TIC dans la ville se fait de manière progressive.

D'autre part, de multiples technologies de soutien à l'IoT sont mises sur le marché offrant de nombreux atouts qui poussent à leurs utilisations dans les VI (i.e capacité de capture et de communication automatique des données du monde réel).

Gartner place actuellement l'IoT comme l'un des domaines d'intérêt que les communautés d'affaires ne peuvent ignorer dans leurs stratégies (Figure 1.1)

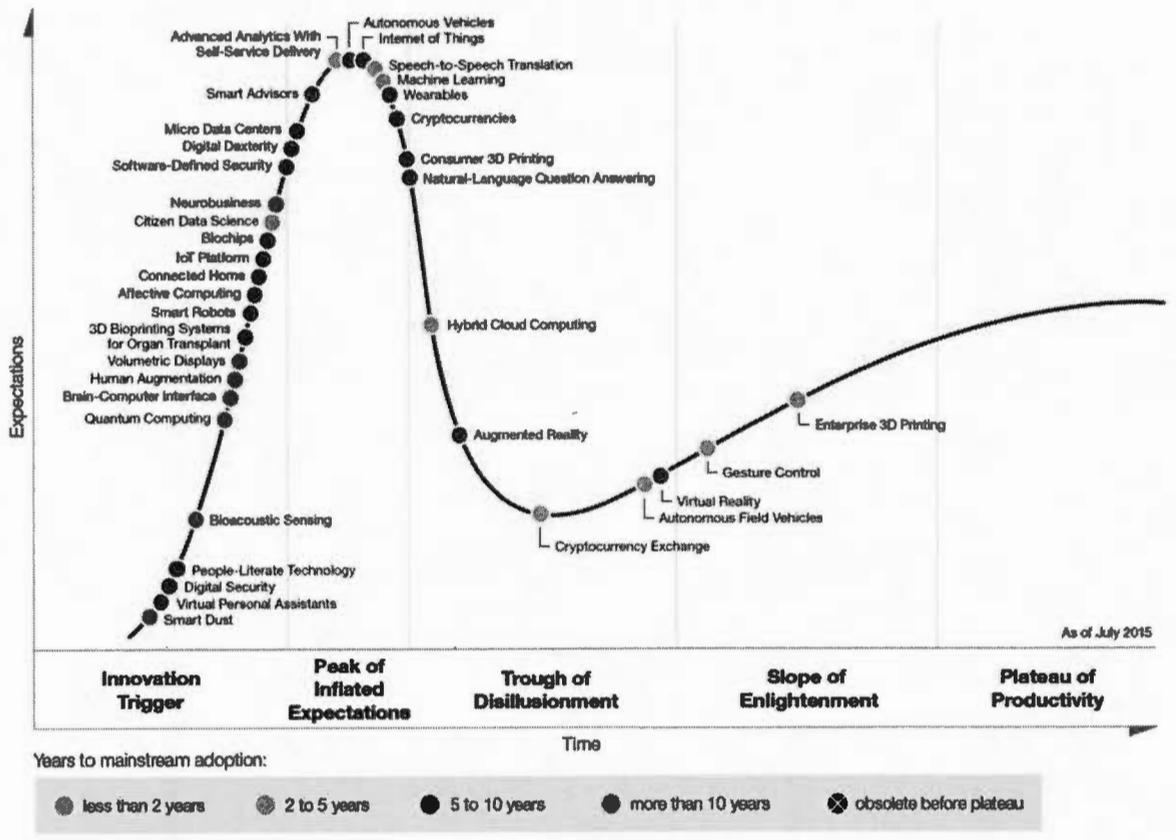


Figure 1.1 Hype Cycle sur l'émergence des technologies (Gartner 2015B)

La forte croissance attendue du marché des objets connectés, estimée à 38,5 milliards d'objets en 2020 (Juniper, 2015) et son soutien à la mise en place de VI ne fait plus de doutes (Gascó, 2016), Santander (Sanchez et al., 2014), Singapour (Batty, 1990; Cordeiro & Al-Hawamdeh, 2001; Hatch, 2013) ou Montréal (VilledeMontréal).

Face à ces démarches qui reposent quelquefois plus sur un aspect purement théorique que pratique (Albino, Berardi, & Dangelico, 2015), il est difficile de faire le lien entre l'état d'avancement de l'IoT et l'état de réalisation concrète d'un projet de VI. Ce problème est central dans ce mémoire. Nous allons développer un modèle intégré et structurant la relation entre l'évolution de l'IoT et celle des projets de VI; deux

domaines qui subissent chacun leur propre évolution, mais dont l'interdépendance est un enjeu prédominant :

- a) pour les gestionnaires des villes qui doivent (i) avoir une meilleure compréhension du potentiel actuel et émergent des services de la VI, d'un point de vue technique et d'affaires (ii) pouvoir identifier et lier différentes technologies de l'IoT à ces scénarios de services novateurs aux citoyens (iii) être en mesure de sélectionner de nouvelles technologies en vue de mettre en place les services envisagés en misant sur les « bonnes » technologies, celles qui s'aligneront sur un standard qui sera « dominant ». Or l'IoT évolue avec de multiples technologies encore en compétition.
- b) Pour les chercheurs qui veulent comprendre l'évolution des VI, et anticiper de manière réaliste les services potentiels qui seront offerts par l'intégration des technologies les plus prometteuses de l'IoT.

## 1.2 Questions de recherche

Dans ce contexte, la question principale est : Comment positionner un projet en tenant compte de la coévolution des VI et de l'IoT?

La maturité de l'IoT a été montrée dans de nombreux projets professionnels. Bendavid et al. (2013) insiste sur le fait que l'IoT a fait ses preuves que ce soient dans la logistique, dans le milieu médical ou dans le commerce de détail. La question posée dans cette recherche vise à justifier que l'évolution de l'IoT conduit à développer de nouveaux services dans les villes. L'évolution de certains services offerts aux citoyens dépend directement de l'évolution de l'IoT. L'un ne pourrait aller sans l'autre.

Cette question est importante, car elle permet de mettre en lumière les opportunités de cette interdépendance.

Pour répondre à la problématique, nous allons nous focaliser sur trois sous-questions :

1. Comment évolue dans le temps un service offert dans une VI ?

Les défis de la VI obligent à une adaptation des services offerts aux citoyens. Cette question consiste à ancrer dans le réel l'utilisation de l'IoT dans les projets de VI afin de délimiter la faisabilité de certaines applications. Aujourd'hui encore, de nombreux projets utilisant l'IoT dans les services de la VI sont difficilement applicables en pratique, car ils se situent plus sur un domaine théorique. La revue littérature de la VI (Chapitre 2 Section 1) synthétise des matrices d'évolution de projets dans la VI en fonction de la maturité des services et des technologies de l'IoT. Nous nous appuyerons sur cela pour élaborer un modèle préliminaire de matrice de coévolution.

2. Comment évoluent dans le temps les technologies de l'IoT dans le contexte de la recherche et des applications concrètes?

La question 2 est la contrepartie IoT de la question 1. Soutenus par l'effervescence des marchés, de nombreux standards et technologies ont évolué et s'affrontent aujourd'hui dans les différentes couches qui composent l'IoT. Cette question consiste donc à réfléchir à la fois à l'évolution passée et future des principales technologies impliquées dans l'IoT. La revue littérature de l'IoT (Chapitre 2 Section 2) synthétise des matrices d'évolution de l'IoT.

3. Quelles sont les relations entre l'évolution des VI et l'évolution de l'IoT ?

Cette dernière question fait le lien entre les deux précédents. Le risque de vouloir introduire de l'IoT dans tous les projets de VI est grand. Mais sans connaître la relation entre les évolutions des VI et de l'IoT, le risque d'échec est important. À partir de la recension des écrits (Chapitre 2), nous proposerons un modèle préliminaire de modèle de coévolution qui sera affinée par l'étude de cas sur la ville de Montréal (Chapitre 6).

### 1.3 Objectifs de recherche

De par ce questionnement, l'objectif principal de cette recherche est de : développer un modèle structuré et intégré de la coévolution de la VI et de l'IoT.

L'introduction de ce mémoire a mis en lumière l'utilisation de l'IoT dans des projets de VI mais il existe un risque « d'effet d'annonce », c'est-à-dire que les mots qui ne sont pas suivi des faits, derrière chaque projet. Un modèle d'analyse structuré permettrait justement de relativiser de tels messages, de mieux comprendre l'état actuel d'applications/de services de la VI, et de prévoir les trajectoires de telles applications en fonction de la maturité des technologies de l'IoT, et d'évaluer les défis et les enjeux relatifs à la mise en place de tels services. L'analyse de l'intrication entre l'IoT et les nouveaux services de la VI revient à comprendre la coévolution qui existe entre ces deux domaines. Cela permettra de mieux saisir le décalage entre les technologies requises et les scénarios envisagés dans la mise en place de services à l'avenir. L'impact de l'évolution de l'IoT doit être étudié dans son intégration dans les projets de VI. À partir des questions de recherche, il convient de déterminer les objectifs qui leur sont directement reliés :

1. Identifier et structurer les niveaux d'évolution des services dans les VI
2. Identifier et structurer les niveaux d'évolution de l'IoT
3. Proposer un modèle structuré et intégré de la coévolution de VI et de l'IoT

La conception d'un modèle théorique de coévolution repose sur l'atteinte des objectifs ci-dessus. Cet exercice permet synthétiser les modèles étudiés et de les intégrer afin d'y apporter une plus grande clarté vis-à-vis de la coévolution entre la VI et l'IoT. L'emphase est aussi mise sur la structuration claire des différents stades d'évolution, notamment en identifiant des variables de comparaison par stade.

## CHAPITRE 2

### REVUE DE LITTÉRATURE

Ce chapitre a pour but d'étudier les recherches effectuées dans les domaines de l'IoT et de la VI ainsi que de leur maturité.

La vocation première de la revue de littérature est d'expliquer les termes qui sont utilisés dans cette recherche afin d'éviter toute ambiguïté. En effet, l'évolution de l'IoT et de la VI représente différentes phases de développement conduisant à des définitions quelque peu différentes d'un auteur à l'autre.

La vocation seconde de la revue de littérature est d'identifier les bases pour la conception d'une matrice de maturité de projets de VI en fonction de la maturité des services et des technologies de l'IoT.

Cette matrice sera développée et exécutée avec des cas d'exemple dans le chapitre 4 et discutée dans le chapitre 5.

#### 2.1 La Ville Intelligente (VI)

Définir le concept de la VI est compliqué, car il n'existe pas réellement de consensus auprès des chercheurs. Il existe deux définitions applicables à ce terme. L'une, macro, qui s'intéresse au projet global de VI, et l'autre, micro, qui s'intéresse aux services dans la VI. À ce sujet, il convient de dire que la définition macro est plus théorique et philosophique alors que le discours micro est plus pratique et s'intéresse concrètement aux projets de la VI.

### 2.1.1 Définition macro de la VI

La définition macro propose d'identifier quels sont les éléments théoriques nécessaires à la constitution d'une VI. Dans la littérature, de nombreux auteurs se proposent de définir la notion de VI. Les études d'Albino et al. (2015) répertorient une multitude de définitions pour montrer le manque de consensus dans ce domaine. L'étude de cet article nous permet de synthétiser notre propre définition de la VI.

Les origines du terme VI ou « Smart City » en anglais remontent à la période de démocratisation des réseaux de télécommunication moderne dans le milieu des années 1980. Le premier projet à mentionner le terme de VI est celui de Singapour.

La mise en place d'infrastructure permettant de centraliser les informations de la ville (Batty, 1990) devait permettre la prise de meilleures décisions (Castells, 1989). Cette première vision de la VI repose sur l'observation des mutations urbaines et technologiques. L'urbaniste Batty (1990) estime qu'une VI est une « ville entièrement équipée d'un réseau de TIC pour gagner un avantage compétitif ».

Pour cette définition, il se base sur les exemples des « villes mondes » telles que Hong Kong et Singapour (Batty, 1990; Cordeiro & Al-Hawamdeh, 2001; Teo & Lim, 1999). Cette définition reste sommaire, mais marque le début de l'étude de la VI et de ses relations avec les technologies.

Le besoin d'approfondir la définition demeure récurrent chez les auteurs ce qui fait qu'encore aujourd'hui le terme n'est pas sujet à consensus.

Après cette première vision historique de la VI, les définitions suivantes peuvent être classées selon trois visions : une vision humaine, une vision technologique et une vision intermédiaire entre humain et technologie.

### 1. Vision humaine de la VI

Certains auteurs insistent sur l'implication de l'humain dans les VI afin d'améliorer sa qualité de vie. Souvent, le terme de « citoyen intelligent » est associé à la VI pour magnifier ce rôle. Ainsi la VI est vue comme un territoire où il existe une forte capacité d'innovation construite à partir de la créativité de sa population, de ses lieux de création de connaissances et des infrastructures de communications en place pour gérer ses connaissances (Komninos, 2006).

Pour aller encore plus loin, Giffinger et al. (2007) voient la VI comme une combinaison des talents et des activités de citoyens ayant conscience de leurs capacités à prendre leurs propres décisions dans la ville. Cette vision accorde un rôle assez secondaire à la technologie dans la VI en attribuant beaucoup de pouvoir aux citoyens.

### 2. Vision technologique de la VI

D'autres auteurs insistent sur l'implication de la technologie dans les VI, comme dans la définition initiale où c'est la démocratisation des réseaux de télécommunication qui a donné naissance à la VI.

Lazaroiu and Roscia (2012) voient la VI comme « a community of average technology size, interconnected and sustainable, comfortable, attractive and secure. » (p.136). La VI reflète l'idée d'associer des technologies entre elles sans avoir de notion humaine derrière. Nam and Pardo (2011) expliquent que l'injection des informations à l'aide des TIC dans les infrastructures physiques de la ville rendra une ville « intelligente » en lui permettant de prendre de meilleures décisions. Cette tendance se rapproche de la définition de Batty sur l'importance des TIC dans la VI.

### 3. Vision intermédiaire entre humain et technologie de la VI

Cette vision consiste à mettre dans un même plan l'humain et la technologie. Bakıcı, Almirall, and Wareham (2013) nous expliquent que la VI met en place de la haute technologie dans le but de connecter à la fois le citoyen, les informations et les services de la ville utilisant les nouvelles technologies dans le but d'améliorer la

qualité de vie des citoyens. Le concept dans cette vision décrit finalement la ville intelligente comme la rencontre de la technologie et du citoyen à travers les actions d'un gouvernement (Caragliu, Del Bo, & Nijkamp, 2011).

Cette vision expose l'idée d'une plateforme commune où nous retrouvons à la fois le citoyen, les services de la ville et les informations produites par la ville. L'idée d'ubiquité de ses éléments permet la réalisation de la VI.

La définition initiale de Batty suggère la notion d'avantage compétitif que devrait apporter la VI. Dans un article récent, ce dernier estime que son approche dans les années 1990 ne prenait pas en compte l'impact que les TIC ont sur les activités d'une ville. Il insiste sur le lien qu'il existe entre les technologies de l'IoT et l'évolution des services de la ville à partir des données récoltées : « We make our technologies and then they make us » (Batty, 2013). Il émet une définition plus formelle de la VI (Batty et al., 2012) où il dépeint la VI comme une « constellation d'instruments placés à différentes échelles qui connectent les données provenant de réseaux différents et qui fournissent des données en continu sur les mouvements des individus et l'évolution de matériel physique afin de permettre de prendre des décisions dans la ville » (Batty et al., p.482). Il met l'accent sur l'importance de comprendre la technologie qui est employée et son impact dans les services offerts par la ville. L'un des challenges exprimés par Batty et al. (2012) est de comprendre l'impact de l'intégration des nouvelles technologies dans les services émergents de la ville.

En aparté, le besoin exprimé, par certains auteurs, de comprendre le lien entre les technologies et leur intégration dans la VI traduit un manque dans la littérature et pousse à la réalisation de cette étude. Dans ce mémoire, nous proposons ainsi notre définition de la VI en tenant compte des perspectives discutées précédemment :

Une ville intelligente est un environnement qui regroupe des acteurs institutionnels, industriels (économiques, technologiques) et citoyens dans un ensemble de projets d'amélioration des services par la mise en place d'applications innovantes en misant sur les TI et de stimulation de l'innovation.

Cette définition permet de décrire la philosophie de ce qu'est une ville intelligente. Elle demeure une définition macro : elle montre que c'est la conjonction de l'intégration des TI et de nouveaux services qui vont permettre l'innovation dans la ville et créer une VI. Elle ne permet donc pas pour autant de comprendre de quoi est composée la VI. Ainsi la définition macro sur la VI n'est pas suffisante pour aider à la réalisation des projets. Souvent trop global ou flou, il est nécessaire de décrire plus précisément ce que contiennent des projets de VI. Une définition micro plus centrée sur les projets doit être étudiée.

### 2.1.2 Définition micro de la VI

Une VI est avant tout composée de projets et d'applications. La définition micro sur la VI s'intéresse principalement à l'étude des domaines d'application des différents projets. En réalité, l'agrégation des applications intelligentes au sein de la ville est ce qui rend la ville plus intelligente. Ces applications sont regroupées au sein de différents domaines dans la VI. Les chercheurs ont déterminé six grands domaines pour exprimer l'« intelligence » d'une ville. Ces grands domaines sont présentés par Giffinger and Gudrun (2010) : « Smart economy (SE), Smart people (SP), Smart governance (SG), Smart mobility (SM), Smart environment (SEn) et Smart Living (SL) » :

- Smart Economy : la SE ou l'économie intelligente renvoie aux services et applications qui ambitionnent d'augmenter la compétitivité économique d'une ville. Ces services impliquent l'innovation, l'entrepreneuriat, la productivité, la flexibilité de la force de travail ou l'intégration de la ville dans le marché (inter)-national. Concrètement un projet de mise en place d'outils de création d'entreprises en ligne au Québec (Registraire des entreprises), ou l'application d'une politique de « flexisécurité » comme au Danemark permettant une fluidité du marché de l'emploi sont des projets de SE dans une VI.

- Smart People : le SP ou l'individu intelligent renvoie aux services qui visent à développer les qualifications et l'éducation des citoyens ainsi qu'à l'amélioration des interactions sociales entre les individus (intégration et l'ouverture à l'autre). Dans la réalité, cela peut se traduire par l'utilisation du tableau blanc interactif dans les écoles publiques (Beauchamp & Parkinson, 2005) ou par la mise en place de projet d'e-learning permettant la réalisation en ligne d'activités comme proposé par la Lakehead Distric School<sup>1</sup>.

- Smart Governance : la SG ou la gouvernance intelligente comprend des applications développées pour favoriser la transparence des affaires publiques ainsi que l'implication des citoyens dans les décisions prises par la ville. Particulièrement aujourd'hui, des projets d'« Open Data » permettent aux citoyens d'accéder aux données relatives à la ville (Ville de Montréal). La technologie est employée pour créer une interaction rapide et directe entre les citoyens et les villes.

- Smart Mobility : la SM ou la mobilité intelligente couvre deux types de services : les services de mobilité urbaine et les services d'accès aux TIC. Les services de mobilité urbaine sont reliés aux transports, par exemple des dispositifs de partage de véhicules électriques, Autolib à Paris<sup>2</sup>. Les services d'accès aux TIC concernent par exemple la mise à disposition de WiFi gratuit pour la population comme l'initiative Zap dans de nombreuses villes du Québec<sup>3</sup>. Les technologies sont centrales dans le développement des services du domaine SM de la VI.

- Smart Environment : le SEN ou l'environnement intelligent implique des applications améliorant la gestion des ressources naturelles (des parcs et forêts, de l'eau, etc.) et la lutte contre la pollution. Des systèmes d'éclairage à détection automatique en 2012 (Energie2007, 2012) réduisent la consommation en énergie en détectant la présence de véhicule sur la route ou l'amélioration de la collecte des

---

<sup>1</sup> Lakeheadschoools. (date n.c.). *E-Learning*. Récupéré de : <https://www.lakeheadschoools.ca/secondary-overview/e-learning/>

<sup>2</sup> Autolib. (date n.c.). *Autolib' Paris*. Récupéré de : <https://www.autolib.eu/fr/>

<sup>3</sup> Moijezap. (date n.c.). *Moi je zap*. Récupéré de : <http://www.moijezap.org/>

déchets à travers l'utilisation de la RFID à Helsinki (Metrosense) sont autant d'exemples montrant l'impact de la technologie dans le domaine SEn dans une VI.

- Smart Living : le SL ou le lieu de vie intelligent implique des projets visant à améliorer les édifices utilisés par les citoyens que ce soient leurs lieux de vie, de travail ou de loisirs. Les applications de la SL intègrent par exemple l'utilisation de la télésurveillance et la construction de bâtiments zéro émission (Carrière & Faure, 2015). La SL s'appuie sur les technologies qui soutiennent la sécurité et la qualité de vie offertes aux citoyens ce qui est important dans la VI.

Une initiative de VI doit impacter au moins l'un de ces domaines (Manville et al., 2014). En effet, une application mise en place dans une VI se retrouve souvent dans plusieurs domaines. Par exemple, le service de véhicules électriques en libre-service induit la SM et la création d'un nouveau service de mobilité au sein de la ville, mais aussi le SEn puisque l'utilisation de véhicule électrique réduit les émissions d'éléments polluants, ce qui aura un impact sur la SE puisque l'environnement de travail est amélioré.

En résumé, la définition micro permet de s'intéresser aux services et applications concrètes de la VI selon les six domaines. Une application pouvant être multidomaines. La place prise par les technologies dans les nouvelles applications montre l'importance d'étudier simultanément l'évolution des services et l'évolution des technologies.

La revue de littérature de la VI a mis en lumière la difficulté d'avoir un consensus qui intègre une vision quantitative, avec la VI comme un réceptacle de données récoltées et transformées, et une vision qualitative, avec la VI comme un ressenti d'un mieux-être des citoyens.

Dans ce mémoire, nous avons ainsi proposé une définition de la VI qui insiste sur le volet « des projets d'amélioration des services ». L'étude de la définition micro permet d'identifier les six domaines composants la VI dans lesquels se retrouvent les projets. L'étude de ces domaines met en exergue l'utilisation de la technologie dans

la réalisation d'applications et de services innovants. Les avancées technologiques permettent la création de nouvelles applications innovantes.

Batty insiste sur le fait que la VI repose sur l'exploitation des données récoltées à partir de l'environnement qui entoure la ville. Les TIC au cœur de la collecte des données correspondent au concept de l'IoT. La seconde partie de la revue de littérature consiste à étudier le concept de l'IoT.

## 2.2 L'internet des objets (IoT)

L'IoT est le concept clé qui appuie la démocratisation de la récolte de données. Dans un premier temps, nous allons définir le concept de l'IoT pour ensuite expliquer les différentes composantes de l'IoT.

### 2.2.1 Le concept de l'internet des objets

L'IoT est un concept défini par la possibilité de rendre chaque objet physique « connectable » à un réseau mondial commun. Il s'agit d'une vision où l'Internet intègre les objets du monde physique aux objets virtuels. Par conséquent, l'objet possède un don d'ubiquité, à la fois présent dans le réel et le virtuel.

L'IoT devient réalité à la fin des années 1990, néanmoins selon Bendavid et al. (2013) les sources du concept sont un peu plus lointaines. Dès 1991, Weiser (1991) donne une vision de l'avenir où il voit l'émergence d'une nouvelle ère informatique, une ère où chaque objet se verra obtenir la capacité de communiquer et d'interagir de manière autonome avec d'autres objets. Cette vision restait une prédiction. Toutefois, il s'agira de l'ébauche de l'informatique ubiquitaire, ancêtre de l'IoT.

Le premier qui a réellement parlé d'Internet of Things est Ashton en 1999 (Ashton, 2009). Par l'intermédiaire des travaux qu'il réalise au MIT dans l'Auto-ID Lab à travers l'utilisation de la technologie de solution d'identification par radiofréquence (RFID), Ashton propage son concept d'« Internet of Things ».

La définition de l'European Research Cluster on the Internet of Things (IERC) est que l'IoT est « A dynamic global network infrastructure with self-configuring capabilities based on standard and interoperable communication protocols where physical and virtual “things” have identities, physical attributes, and virtual personalities and use intelligent interfaces, and are seamlessly integrated into the information network.(IERC) ».

Le concept de « things » ou d'« objets » dans ce contexte peut très bien faire référence à un acteur réel ou virtuel. Il peut désigner un objet dans le monde réel, un être humain ou une donnée créant la rencontre de plusieurs dimensions : la dimension physique et la dimension numérique.

### 2.2.2 Les composantes de l'internet des objets

L'IoT est une combinaison de différentes technologies qui travaillent ensemble. Al-Fuqaha, Guizani, Mohammadi, Aledhari, and Ayyash (2015) ont découpé l'IoT en six blocs afin de mettre en lumière les différentes alternatives qui existent dans l'univers de l'IoT (Figure 2.1).



Figure 2.1 Les éléments de l'IoT (Al-Fuqaha et al., 2015) p.2350

- L'identification : de manière générale, l'identification d'un objet dans l'IoT consiste à lui donner un nom et une adresse. L'identification doit permettre de définir de manière unique l'objet dans l'IoT pour qu'il puisse être associé à son service correspondant. Il faut que l'objet possède un nom. Les deux méthodes de naming principales sont l'Electronic Product Code (EPC) propulsé par Ashton et ses travaux

dans la RFID (Bendavid et al., 2013) et l'Ubiquitous ID (UID) standardisées par Koshizuka and Sakamura (2010).

Les auteurs insistent sur le fait que connaître le nom n'est pas suffisant pour identifier de manière unique l'objet. À cette identification il faut également ajouter une adresse qui va correspondre à la place de l'objet dans le réseau de communication. À l'heure actuelle, les méthodes d'« addressing » des objets sont principalement l'IPv4 et l'IPv6 qui cohabitent sur le marché, mais qui ne sont pas compatibles.

- La capture : la capture pour l'IoT signifie recueillir des données des objets et de les renvoyer dans une base de données, un entrepôt de donnée ou dans le nuage. Les données collectées sont analysées pour permettre de prendre des décisions selon le contexte spécifié par le service. Les capteurs peuvent avoir une multitude de formes comme des tags RFID, des capteurs intelligents ou des vêtements intelligents. Par exemple, SmartThings de Samsung permet de contrôler son intérieur à l'aide de son smartphone (Samsung, 2016). La capture est essentielle sur la forme et la qualité des données collectées et aura un impact sur les nouveaux services proposés.
- La communication : la communication dans l'IoT permet de connecter ensemble des objets hétérogènes pour offrir un service spécifique. Selon les besoins, les quantités d'informations à communiquer et les distances maximales souhaitées, il existe une multitude de protocoles de communication. Le Bluetooth, la RFID, le WIFI ou les réseaux cellulaires sont les protocoles de communication les plus répandus sur le marché et les plus matures.

Le choix de la technologie de communication dépend des besoins exprimés dans le cahier des charges d'un projet. La maturité de chaque protocole induit une évolution dans l'IoT et transforme les possibilités offertes par la technologie. Par conséquent, chaque protocole a ses avantages et inconvénients selon les besoins.

- Le calcul (computation) : la partie unité de traitement (hardware) et les logiciels applicatifs (softwares) définissent un bloc propre aux calculs et aux analyses à partir des données récoltées. Une multitude de hardwares particulièrement adaptés à l'IoT

sont disponibles sur le marché tel que l'Arduino, l'Intel Galileo ou le Raspberry PI. Ils sont principalement utiles pour leurs coûts d'utilisation modestes ce qui permet la multiplication de ces appareils afin de créer des réseaux d'IoT.

Au niveau du logiciel applicatif, nous retrouvons (a) des systèmes d'exploitation sur lesquels des applications pourront opérer (b) une multitude d'applications hébergées à même le dispositif (sur l'objet), localement des serveurs d'une entreprise, ou sur le nuage « cloud ». Selon le National Institute of Standards and technology, le cloud computing “ is a model for enabling ubiquitous, convenient, on-demand network access to a shared pool of configurable computing resources (e.g., networks, servers, storage, applications, and services) that can be rapidly provisioned and released with minimal management effort or service provider interaction”(Mell & Grance, 2011). La notion d'ubiquité dans le Cloud Computing est au cœur de l'IoT.

- Les services : les services correspondent à l'utilisation faite par l'IoT des données collectées. Il existe divers types de services disponibles selon le degré de manipulation et de disponibilité des données de l'IoT :
  - Identity-related Services : identification d'un objet réel dans le monde virtuel ;
  - Information Aggregation services : collection et résumé des données brutes afin de les préparer à un traitement.
  - Collaborative-Aware Services : utilisation des données agrégées pour prendre des décisions et déclencher des transactions.
  - Ubiquitous Services : fournir les services du Collaborative-Aware à n'importe quel moment, n'importe où et à tous ceux qui les demandent (Gigli & Koo, 2011).
- La sémantique : la sémantique concerne la capacité à pouvoir extraire de la connaissance à partir des données collectées pour exécuter un service précis. La création de connaissances implique de bien connaître les données afin de pouvoir les orienter vers les bons services. Le consortium World Wide Web (W3C) fournit des standards pour aider à décrire les données : il s'agit du Resource Description Framework (RDF) et du Web Ontology Language (Owl).

Le concept de l'IoT implique une variété de composantes technologiques qui influencent la réalisation d'un projet IoT. Outre des normes et standards différents, il existe des tendances fortes et contradictoires dans l'IoT rendant la réalisation d'un projet complexe. Les technologies de l'IoT sont en constante évolution et atteignent des phases de maturité dans le marché (Bendavid et al., 2013). Khan, Khan, Zaheer, and Khan (2012) estiment que le développement de l'IoT dépend principalement des progrès technologiques et du design des différentes applications qui sont créés. L'évolution technologique et les applications réalisées à partir de ces progrès sont donc intimement liées.

Dans le cadre des VI, les nouveaux services proposés aux citoyens doivent tenir compte de l'évolution de ces technologies afin de bien comprendre la relation entre la VI et l'IoT. C'est cette relation de coévolution entre la VI et l'IoT dans la littérature qui va être expliquée dans la section suivante.

### 2.3 La coévolution de la ville intelligente et de l'internet des objets

La compréhension de l'intégration de l'IoT dans les VI est un sujet qui permet de diminuer les risques d'échec des projets de VI. Par exemple, la ville de Nice (4<sup>e</sup> ville la plus « intelligente » selon Juniper) a lancé en 2013, un système de stationnement basé sur des capteurs reliés à des horodateurs qui devait permettre d'orienter en temps réel les automobilistes vers les places de stationnement disponibles (Noisette, 2013). Or en mai 2016, faute d'utilisateurs, le dispositif est abandonné et les 291 bornes de paiements sont mises hors services et le retour des anciens horodateurs est annoncé (Frenois, 2016). Cet exemple montre qu'une ville doit être préparée et que « la technologie ne fait pas l'usage ». Il faut trouver un lien entre les deux permettant de rapprocher une technologie avec un nouveau service.

### 2.3.1 L'évolution des services de la VI

Précédemment, nous avons vu que la définition de la VI est à la fois macro et micro. L'analyse macro de la maturité d'une ville correspond à un niveau global de tous les projets dans la VI. De nombreux outils ont été mis en place pour comparer les villes (Jupiter Research, IDC, smart-cities.eu,...). Le modèle IDC MaturityScape s'appuie sur la dimension technologique pour décrire le degré de maturité en cinq phases : Ad hoc, Opportunistic, Repeatable, Managed Optimized (Clarke, 2013; Clarke & Brooks, 2015). L'IDC a identifié cinq dimensions pour caractériser les VI : la vision, la culture, les processus, la technologie et les données. Dans le cadre de notre recherche, les éléments pertinents se trouvent dans deux sous domaines (Tableau 2.1).

Tableau 2.1 IDC MaturityScape (Clarke & Brooks, 2015)

IoT Adoption & Data discovery and analysis	
Ad Hoc	There are limited or basic levels of wireless broadband, sensors, cameras, and advanced devices in strategic, localized areas.
	Data specialists use analytic methodologies for ad hoc requests and standard reporting. Limited automation is in place for data analysis.
Opportunistic	There is a focused buildout of wireless broadband, sensors, cameras, and advanced devices for specific projects and outcomes by department.
	Focus on data blending to analyze data from multiple sources. Some tools are open to nonspecialists via visual analytics and user-friendly Uis
Repeatable	Large-scale deployment of wireless broadband, sensors, cameras, and advanced devices are leveraged for multiple projects and organizations.
	Automated analytic techniques are used by specialists and nonspecialists to explore data from multiple sources and provide interactive reports.
Managed	Large-scale deployment of wireless broadband, sensors, cameras, and advanced devices are leveraged citywide for multiple projects and goals.
	Analytics support workflows in near real-time detecting patterns, root causes, and predicting events. Algorithms are built to continuously enhance decision automation.
Optimized	Ubiquitous wireless broadband coverage and sensors, cameras, and advanced devices on city assets deliver exceptional outcomes and service delivery.
	Analytics are embedded in everyday workflows in real time. Automated tools apply metrics to KPIs for strategy execution.

Le niveau de maturité d'une ville est directement lié au degré d'adoption de l'IoT dans les projets ainsi qu'à l'utilisation faite à partir des données récoltées par l'IoT.

Néanmoins, l'étude de la maturité macro n'est pas suffisante. L'évolution de Singapour vue par les chercheurs permet de comprendre qu'il existe une évolution des services dans la VI (Cordeiro & Al-Hawamdeh, 2001; Teo & Lim, 1999). À travers ce constat, de nombreux auteurs ont étudié la maturité des différents services que proposent aujourd'hui les VI.

Talon (2012) a étudié le domaine du SL afin de déterminer des niveaux de maturité des services dans ce domaine. Des services ont été analysés afin d'identifier cinq niveaux de maturité de service dans un centre commercial (Tableau 2.2) - (adapté de Talon, 2012 - acétate 9).

Tableau 2.2 Modèle de maturité des services (adapté de Talon (2012))

Niveaux de maturité des services	Chauffage, ventilation, climatisation (HVAC)	Éclairage	Feu et sécurité
Niveau 0 : Baseline	Personnel opérationnel-planification manuelle	Occupant- Contrôle manuel	Paramètres fixes basés sur les régulations locales
Niveau 1 : Stakeholder alignment	Automatisation basique (calendrier préétabli)	Capteur d'occupation ou timers	Système de monitoring vidéo
Niveau 2 : Preliminary actions	Retro-commissioning	Contrôle centralisé (Building Automation Systems)	Capteurs d'occupation, contrôle automatique d'accès
Niveau 3 : Adaptative actions	Automatisation avancée (séquençage du refroidisseur, automatisation du volume et de la vitesse du climatiseur)	Contrôle avancé (ballast réglable, managed LED retrofit)	Paramétrage de zone basée sur la présence
Niveau 4 : Optimization	Adaptation en temps réel pour correspondre aux objectifs de la plateforme de gestion de l'énergie, totalement intégrée avec les autres systèmes du bâtiment	Adaptation en temps réel pour correspondre aux objectifs de la plateforme de gestion de l'énergie, totalement intégrée avec les autres systèmes du bâtiment	Intégration d'outils avancés de contrôle de feu et de sécurité qui communiquent avec le système de gestion du bâtiment

L'analyse de ces niveaux de maturité montre un modèle que suit le service. Au départ, celui-ci est réalisé de manière manuelle et physiquement sans l'aide de technologie (niveau 0 : Baseline).

Par exemple, pour les systèmes HVAC, cette phase correspond à des opérations d'inspection visuelle et de maintenance manuelle (Tableau 2.6, colonne 2). Ensuite plus le service monte dans le niveau de maturité plus les technologies permettent d'atteindre une automatisation du service jusqu'à une intégration globale des services. Par exemple, pour les systèmes HVAC, l'introduction des tags RFID, permet une capture automatique de la présence (niveau 2 : Preliminary actions) offrant une régulation à la demande des besoins pour une pièce (niveau 3 : Adaptive actions)(Li, Calis, & Becerik-Gerber, 2012). L'intégration (niveau 4 : Optimization) avec d'autres systèmes améliore la capacité à prévoir des actions futures de manières automatiques (M4 de Matricis). Cette vision ne se retrouve pas uniquement dans le SL. L'analyse de services de mobilité urbaine permet d'identifier les phases de maturité (Mehlhorn, 2015). Dans ce cas-là, la maturité est divisée en quatre et l'auteur parle plutôt de version 1.0 à 4.0 que de niveaux 0 à 4 (Tableau 2.3 (traduit par l'auteur p.8)).

Tableau 2.3 Maturité de la mobilité urbaine adaptée de Mehlhorn (2015)

Version de la mobilité urbaine	Description
1.0 : Mobilité basique « Brick and steel » :	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Routes et voies ferrées</li> <li>• Système de transport public</li> <li>• Hub de mobilité</li> </ul>
2.0 : Mobilité semi-automatisée :	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Système de contrôle opérationnel des routes et du trafic ferroviaire</li> <li>• Automatisation du rail principalement sur la sécurité et la sûreté</li> </ul>
3.0 : Mobilité intelligente :	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Système de contrôle des trains totalement automatisé</li> <li>• Centre de gestion du trafic urbain</li> <li>• Personnalisation des services et informations</li> <li>• Intégration des préoccupations environnementales</li> </ul>
4.0 : Totalement intégrée, mobilité intelligente :	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Solutions et plateformes intégrées</li> <li>• Concentration sur l'utilisateur final, service sur demande</li> <li>• Temps réel, optimisation basée sur les données et gestion automatique des incidents</li> <li>• Intégration de la mobilité avec les autres systèmes de la VI</li> </ul>

Il n'existe pas vraiment de consensus dans la définition de la maturité d'un service dans la VI. Néanmoins, à partir de ces trois descriptions des maturités des services dans la VI, nous pourrions déterminer dans le chapitre 4 notre propre version de niveaux de maturité d'un service et l'utiliser pour décrire les cas que nous aurons sélectionnés.

### 2.3.2 L'évolution des technologies de l'IoT

Il existe peu d'études qui s'intéressent uniquement à la maturité des technologies de l'IoT. En fait, étudier l'évolution de l'IoT correspond également à s'intéresser au niveau de maturité des différentes technologies constituantes qui seront appelées dans les services de la VI. Or l'IoT est composé de différentes couches technologiques (Figure 2.2).

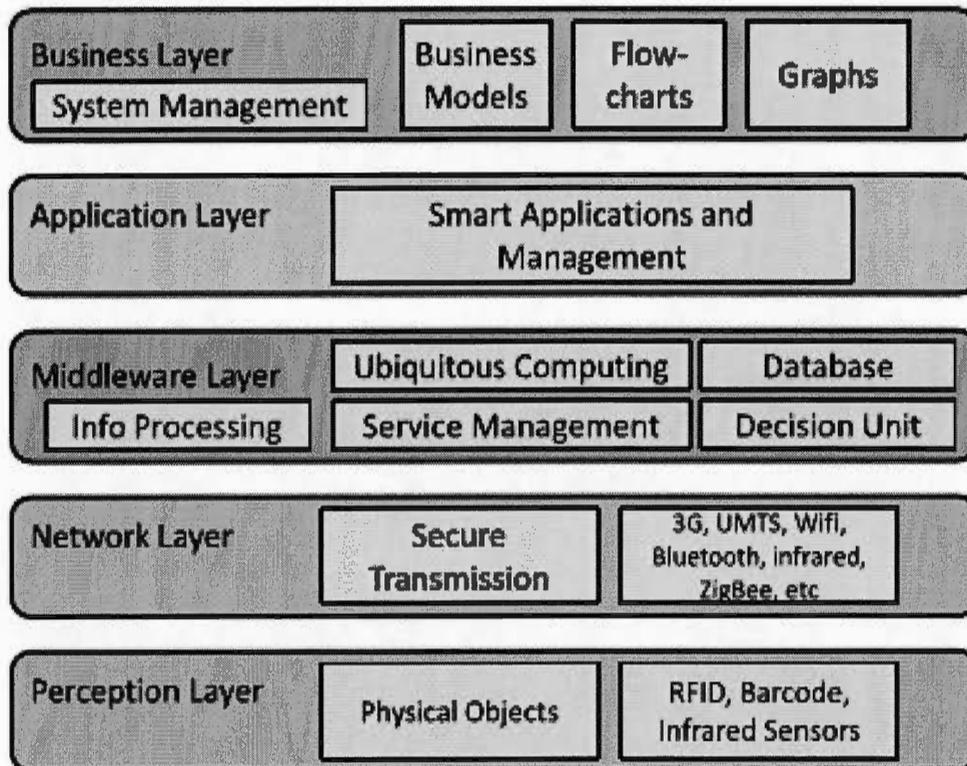


Figure 2.2 Les cinq couches de l'IoT(Khan et al., 2012) p.259

La maturité de l'IoT inclut la maturité de multiples technologies : des objets connectés connectant les données (Perception layer), des réseaux de communications faisant circuler les données (Network layer), des hardware et software qui stockent et gèrent ces données (Middleware layer), des applications qui exploitent ces données (Application layer), et des outils permettant d'intégrer toutes les technologies des couches inférieures (Business layer) (Miao et al., 2010).

Il existe actuellement plusieurs modèles de maturité technologique. Par exemple le modèle Technology Readiness Level (TLR) (Norme ISO 16290:2013) développé par le département de défense américain, le modèle TRL simplifié en trois phases (Rybicka, Tiwari, & Leeke, 2016) peut être utilisé pour définir la maturité de l'IoT. Il s'agit de modèle générique sur les technologies, un modèle de maturité pour l'IoT a été développé par Shan (2015) afin de pallier ce manque. Néanmoins, ce modèle reste à démontrer et un modèle plus pertinent tel que l'architecture en 5C est développé par Lee, Bagheri, and Kao (2015) pour l'industrie intelligente. Le TRL est un cadre qui est utilisé pour mesurer la maturité d'une technologie de la génération de l'idée (principe de base) à la commercialisation (Nakamura, Kajikawa, & Suzuki, 2013; Rybicka et al., 2016). Les niveaux du TRL sont expliqués dans le tableau 2.4.

Tableau 2.4 Niveaux des TRL selon Rybicka et al. (2016) p.1004

TRL	Description	Phase de Rybicka
1	Principes de base observés et rapportés	Phase Laboratoire
2	Concepts et/ou technologies sont formulés	
3	Fonction critique analysée et expérimentée ou preuve caractéristique du concept	
4	Validation en laboratoire du composant et/ou de l'artefact produit	Phase Pilote
5	Validation dans un environnement significatif du composant et/ou de l'artefact produit	
6	Démonstration du modèle système/sous-système ou du prototype dans un environnement significatif (sur terre ou dans les airs)	
7	Démonstration du système prototype en environnement opérationnel	Phase commerciale
8	Système réel complet et « vol de qualification » à travers des tests et des démonstrations (sur terre ou dans les airs)	
9	Système réel prouvé à travers des opérations/missions réussies	

Les descriptions correspondent aux jargons militaires, car cet outil d'évaluation a été développé par le Département de Défense américain. Rybicka et al. (2016) ont exploité ce modèle de manière simplifiée TRL 1-3 la phase laboratoire, TRL 4-6 la phase pilote et TRL 7-9 la phase commerciale.

Cette délimitation permet d'identifier la phase d'évolution du produit technologique sans faire intervenir le jargon militaire. Cet outil met l'emphase sur les phases de développement d'un produit (phase laboratoire + phase pilote) et moins sur l'utilisation réelle du produit (phase commerciale) ce qui peut être limitatif lorsqu'on souhaite étudier une technologie déjà sur le marché. Le modèle d'IoT Maturity Model (IoTMM) développé par Shan se rapproche de l'idée de différentes phases d'évolution de la technologie (Tableau 2.5). IoTMM décrit cinq niveaux de maturité de l'IoT en identifiant l'apport des technologies.

Tableau 2.5 IoTMM (adapté de Shan, 2015)

Level	Description	Characteristics	Enablers
Primitive	initial stage of disengaged activities in an unorganized fashion	Siloed sensors Isolated M2M applications Limited functions	Sensor, embedded units, RFID, Transcends, fosstrak, OpenPCD, OpenBeacon
Tentative	ad-hoc experiments of trial and error with some level of connectivity	Connected devices Units inter-communicated Lightweight protocols	Wearables, MQTT, XMPP, Zigbee, AllJoyn, KAA, ThingSpeak, Mango, Contiki
Advanced	comprehensive framework and lifecycle for effective execution and service management	Managed services Secured remote management Reliable quality of services	Remote access, cloud, CRM/ERP/PLM integration, OpenRemote, Freeboard
Dynamic	sophisticated analytics and consistent operationalization by means of architecture disciplines and best-practice patterns	Smart decision Contextual analytics applied Harvest of knowledge and insights	Dashboard, visualization, data mining, statistical modeling, Hadoop, R
Optimized	converged platform and unified technical stack with a repeatable process and policy-driven codification	Converged tech Interplay with other disciplines Unified intelligent solutions	SMAC+, Rule engine, APIs, web services, machine learning, AI, Spark, Storm

L'IoTMM expose l'évolution que suivent les niveaux de maturité en les rapprochant de l'émergence de différents outils technologies de l'IoT (Tableau 2.5, colonne 4 Enablers).

L'IoT doit être organisé, car, sans cela, l'apport de celle-ci est limité (Level Primitive). Or plus le niveau de maturité est élevé, plus l'IoT demande à être organisé avec l'intégration d'outils d'analyses et de visualisation tels que des Dashboard ou data mining (Dynamic). Le niveau maximal de maturité induit une convergence des technologies permettant la réalisation de solution de prédictivité (Optimized).

De mon point de vue, ce modèle repose essentiellement sur les différentes couches de l'IoT (Figure 2.2). Nous observons que le passage au niveau supérieur correspond finalement au passage d'une couche supérieure à l'IoT. Le passage du niveau Primitive à Tentative (Tableau 2.5) correspond au passage de la couche Perception Layer à Network Layer (Figure 2.2). L'idée est que l'ajout d'une nouvelle couche de l'IoT augmente le niveau de maturité de la technologie. En outre, ce modèle n'a pas été validé sur le terrain et ne repose que sur l'expérience et la perception de l'auteur sur le domaine.

Le modèle le plus pertinent semble être celui développé du Cyber-physical System (CPS) (Lee et al., 2015). Le CPS se définit comme « transformative technologies for managing interconnected systems between its physical assets and computational capabilities ».

Une architecture en niveau 5C est mis en place afin d'identifier les attributs qui permettront de passé de données récoltées sur les machines de productions à une automatisation complète du système (Figure 2.3).

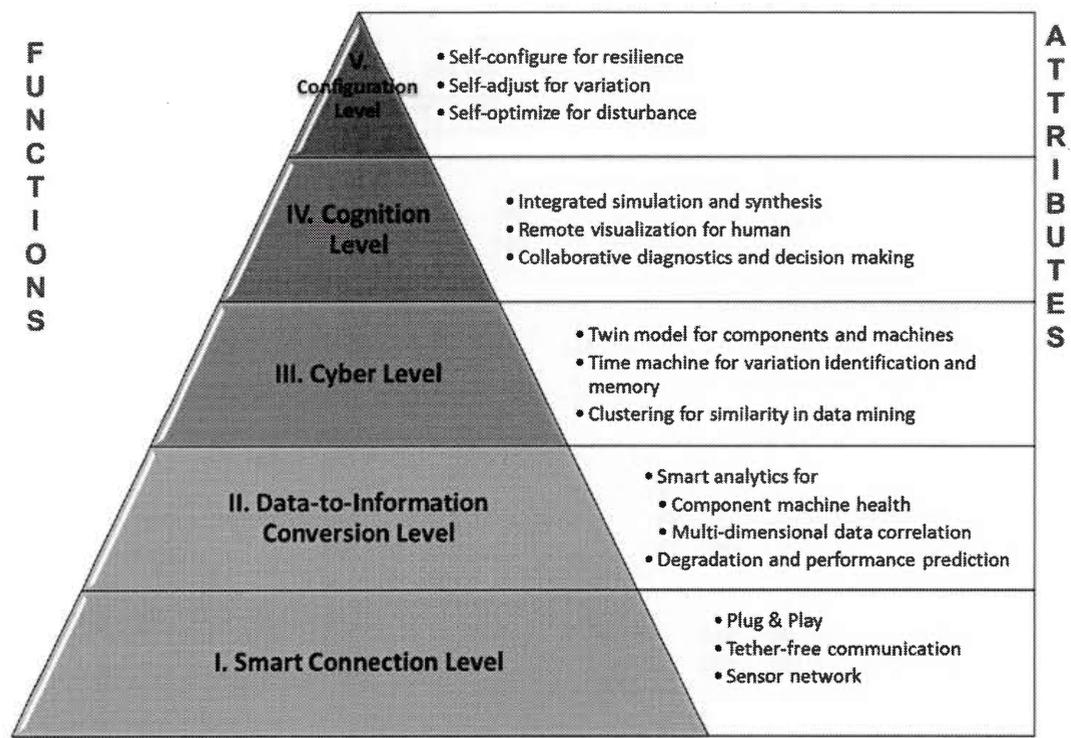


Figure 2.3 Architecture 5C du CPS p.20 (Lee et al., 2015)

Le niveau I de la pyramide correspond à l'acquisition de données fiables sur les machines et composants. Deux facteurs à prendre en compte ici, comment les données vont être acquises et transmises et quel type de senseur utilisé.

Le niveau II introduit la transformation de la donnée en une information pertinente (développement d'algorithme, d'outils de prise de décision).

Le niveau III Cyber correspond à une connexion entre toutes les machines du réseau afin qu'elle se compare et que l'on puisse détecter des anomalies pour des machines identiques.

Le niveau IV Cognition correspond à la possibilité de prioriser et d'optimiser des décisions à partir des connaissances acquises dans les niveaux inférieurs.

Le dernier niveau V Configuration correspond à la capacité du système de prévoir lui-même ses besoins et de s'autoconfigurer pour s'ajuster aux situations.

Les trois modèles que nous avons présentés sont TRL pour un modèle généraliste, Shan pour un modèle se calquant sur les couches de l'IoT et enfin le modèle de 5C du CPS se nivelant par rapport à des applications. D'autres modèles existent sur le marché, Cisco propose l'IoT World Forum Reference Model (Green, 2014) en reprenant l'idée des couches de l'IoT en 7 étapes : (1) Physical Devices & Controller, (2) Connectivity, (3) Edge Computing, (4) Data Accumulation, (5) Data Abstraction, (6) Application, (7) Collaboration and Processes. Des précisions sont ajoutées afin de délimiter la partie operating technology (OT) qui contrôle et surveille les objets et la partie IT qui supportent les systèmes de prise de décisions (Daugherty, Banerjee, Negm, & Alter, 2015).

Chez Salesforce (Salesforce) la vision est en cinq phases selon l'innovation apportée par l'IoT dans les applications : (1) « Sensorisation » de l'environnement et de l'industrie avec des produits connectés (2) Utilisation de KPIs collectés afin que l'humain prenne des décisions plus efficaces (3) Prise de décision intelligente en temps réel (4) Intelligence prédictive et (5) Disruption et nouveau modèle d'affaires.

Pour leur part Ericsson voit l'évolution de l'IoT par cycle d'adoption : (1) Les objets de consommations courantes en réseaux (grand public) puis (2) l'industrie connectée (professionnel) et enfin (3) le tout connecté (société) (Ericsson Whitepaper, 2011). C'est le dernier aspect que nous souhaitons aborder. L'esprit d'Ericsson semble dire que l'IoT sera adopté sans aucun souci. Or le cycle d'adoption des TI a été étudié par Rogers (2002) et prolongé par le chiasme de (Moore, 2002). Ainsi pour que la technologie soit adoptée il faut que l'utilisateur y trouve une valeur (Jadoul, 2016).

Finalement, l'étude de l'interconnexion entre les concepts de VI et d'IoT est un sujet peu traité dans la littérature malgré l'importance qu'ils prennent indépendamment

l'un de l'autre. L'étude des définitions macro et micro conduit à définir la VI comme un environnement qui regroupe des acteurs institutionnels, industriels (économiques, technologiques) et citoyens dans un ensemble de projets d'amélioration des services par la mise en place d'applications innovantes en misant sur les TI (de l'IoT) et de stimulation de l'innovation.

Les auteurs répartissent les projets en six domaines constitutifs de la VI : Smart Mobility, Smart Environment, Smart People, Smart Living, Smart Governance et Smart Economy. À partir de là, les chercheurs ont pu catégoriser un projet dans la VI en fonction de son domaine. L'agglomération des projets fait qu'une ville devient plus intelligente. C'est pour cette raison que dans ce mémoire c'est l'évolution des services offerts par la ville qui seront étudiés selon leur maturité.

Il apparaît que la VI repose sur les informations que la ville produit. L'évolution technologique a permis de récolter et de traiter des données émises par la ville afin d'offrir de nouveaux services aux citoyens. L'IoT est l'une des solutions pour faciliter et automatiser cette collecte. L'étude de l'IoT met également en lumière de nombreuses évolutions au cours des 20 dernières années qui impactent ses composantes. Ainsi de nombreuses questions se posent sur l'interopérabilité actuelle et future de l'IoT.

Cette revue de littérature révèle ainsi le besoin de comprendre la coévolution entre l'IoT et la VI. Cela permettra de comprendre comment l'IoT soutient l'évolution des services actuels et émergents offerts par une ville. Cette revue a aussi mis en évidence plusieurs cadres et modèles de maturité (VI et IoT) qui nous serviront à la conception de notre propre matrice d'évaluation des liens entre les deux concepts lorsqu'il faudra étudier un service de la VI.

## CHAPITRE 3

### CADRE MÉTHODOLOGIQUE

Dans ce chapitre nous expliquons la méthodologie utilisée pour réaliser la recherche afin d'atteindre nos objectifs de recherche et répondre à la question principale du chapitre I :

Comment positionner un projet dans une ville en tenant compte de la coévolution de la VI et de l'IoT ?

Pour ce faire, dans un premier temps nous expliquerons notre choix de l'étude de cas comme méthodologie de recherche et puis nous la désignerons en utilisant les huit étapes exposées par Gagnon (2012).

Le choix de la méthodologie découle de notre problématique, nos questions et nos objectifs de recherche que nous avons exposés dans le chapitre I ainsi que de la nature de la recherche (domaine, terrain de l'étude, contexte). La Figure 3.1 décrit les méthodes de recherche que nous avons associées à chacun de nos objectifs ainsi que les différents extrants obtenus.

Nous avons relié à chacun de nos objectifs une méthode de recherche nous permettant de répondre à nos questions de recherche. L'extrant de chaque objectif est également indiqué.

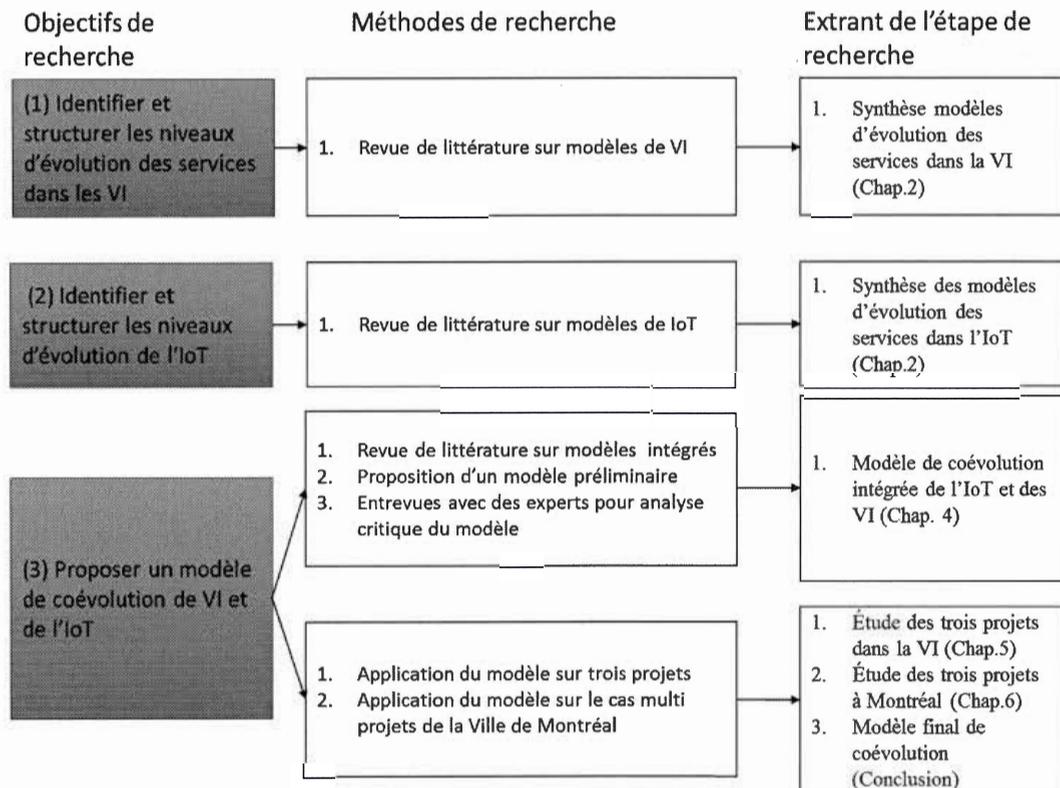


Figure 3.1 Identification des méthodes et extrants de recherche

Notre recherche se positionne dans un secteur englobant VI et IoT. Ce que nous souhaitons réaliser en conclusion de la recherche est un modèle final théorique que nous pourrions exploiter et valider dans de futures recherches.

Les objectifs (1) et (2) ont été atteints à l'aide de la revue littérature du chapitre précédent. À partir des synthèses des modèles d'évolution des services dans la VI et dans l'IoT, nous avons développé une version préliminaire d'un modèle de coévolution que nous avons raffiné par des entrevues avec des experts.

L'échantillonnage des experts est fait de manière à n'utiliser que des individus capables de comprendre le fonctionnement de la VI et de l'IoT. Nous avons sélectionné huit personnes (Tableau 3.1). Il s'agira d'entrevue de type direct avec des questions ouvertes qui seront posées en face à face.

Tableau 3.1 Échantillonnage des entrevues sur matrice

Catégorie de l'interviewer	Nombres
Professionnel industrie IoT	3
Professionnel VI	2
Chercheurs	3

Pour plus de précision sur les positions occupées par nos experts :

- Pour nos professionnels de l'industrie IoT :
  - CEO d'une entreprise fournissant de solution de gestion d'objets connectés
  - CEO d'une entreprise fournisseur un logiciel de réseau privé IoT
  - Ingénieur opérationnel de solution de gestion d'objets connectés
- Pour nos professionnels VI :
  - Directeur technologique du quartier des Spectacles à Montréal
  - Ingénieur initiateur du déploiement de solutions wifi public à Montréal
- Pour nos chercheurs :
  - Professeure au département de gestion des technologies de l'information à l'UQAM
  - Professeur au département de gestion des technologies de l'information à l'UQAM
  - Professeur au département des sciences économiques de l'UQAM expert en économie urbaine et régionale

Une trame a été rédigée pour les entretiens (Annexe C) dans le cadre de la demande de certification d'éthique (Annexe A et B).

Ainsi une première version de notre modèle, qui prend la forme d'une matrice, est présentée dans le chapitre 4.

Pour affiner davantage le modèle nous avons sélectionné trois services dans la VI qui sont impactés par l'IoT : gestion des espaces des stationnements urbains, gestion des horaires de bus, gestion de la consommation électrique (Chapitre 5). Pour cela, nous nous sommes appuyés sur la littérature professionnelle (p.ex. revue professionnelle, site de fournisseurs), académique (p.ex. convention, colloque, publication,) et grands publics (p.ex. presse écrite, reportage) afin d'appliquer notre première version du modèle de coévolution.

Enfin dans un dernier temps, nous avons ancré notre recherche à un cas concret de ville ayant une politique de VI : Montréal. Le rôle de cet étude de cas sera d'affiner une dernière fois notre modèle de coévolution à partir de données basées sur des retours directs de personnes gérant au quotidien les questions de VI. L'apport du cas sera de nourrir le modèle théorique que nous avons développer.

### 3.1 Choix de l'étude de cas

Cette étude est donc de nature exploratoire et c'est le contexte de la ville de Montréal qui constituera notre milieu de recherche. L'étude de cas est une méthode qui permet au chercheur d'examiner attentivement des données dans un contexte spécifique. La méthode de l'étude de cas sélectionne un petit espace géographique et un nombre limité d'individus comme sujet de l'étude (Zainal, 2007). Elle permet d'analyser de manière holistique un ou plusieurs objets de recherche (El Attar & El Moustafid, 2014).

Yin (1994) définit la méthode de l'étude de cas comme une approche empirique, compréhensive et permettant d'enquêter en profondeur sur un phénomène contemporain, complexe, dans son contexte de vie naturel (réel), quand les frontières entre le phénomène et le contexte ne sont pas claires.

Pour Yin (1994), le recours à l'étude de cas est approprié lorsque se pose une question du type « comment » ou « pourquoi » à propos d'un ensemble contemporain d'événements, sur lesquels le chercheur a peu ou pas de contrôle.

L'étude de cas présente l'avantage de permettre une approche qualitative dans la recherche qui est de plus en plus utilisée dans la recherche en science de gestion (El Attar & El Moustafid, 2014). Selon une définition de Guba and Lincoln (1994), notre recherche est de type qualitatif c'est-à-dire qu'elle est multidimensionnelle et repose sur l'étude des phénomènes dans leur cadre réel et naturel à travers l'utilisation d'entretien, d'analyse documentaire, d'observation et d'enquête.

En recherche qualitative, il existe deux logiques différentes :

- Logique qualitative déductive : consistant à approuver ou réfuter un modèle théorique en le comparant aux données tirées d'un échantillon
- Logique qualitative inductive : consistant à utiliser les données recueillies sur le terrain afin de construire une théorie généralisable.

La réalisation de l'étude implique un cas spécifique permettant de généraliser les résultats à l'ensemble du phénomène étudié. Pour garantir la validité de l'étude de cas, il convient de suivre certaines règles (El Attar & El Moustafid, 2014; Yin, 1994).

Yin établit une liste de tests pour bien réaliser son étude de cas basée sur une validité du construit, une validité interne, une validité externe et une fiabilité (Tableau 3.2).

Tableau 3.2 Tactique pour l'étude de cas

Test	Tactique pour l'étude de cas	Phase de recherche d'application de la tactique
Validité du construit	Utiliser plusieurs sources d'évidence Établir une chaîne d'évidences Une revue par des informants clés du projet du rapport de l'étude de cas	Collecte des données Collecte des données Composition/ rédaction
Validité interne	Faire la correspondance des modèles Faire de la construction Réaliser des analyses sur les séries chronologiques	Analyse des données Analyse des données Analyse des données
Validité externe	Faire de la réplication logique sur des cas multiples	Design de la recherche
Fiabilité	Utiliser un protocole pour l'étude de cas Développer une base de données de l'étude de cas	Collecte des données Collecte des données

La validité externe de la recherche dépend du design de la recherche choisi par le chercheur. Pour être accepté et validé par ses pairs, le chercheur se doit de suivre une démarche adaptée.

Gagnon (2012) encadre par huit étapes la réalisation de l'étude de cas afin de toujours assurer la qualité de la recherche (Figure 3.2) :

- (1) Établir la pertinence
- (2) Assurer la véracité des résultats
- (3) La préparation
- (4) Le recrutement des cas
- (5) La collecte des données
- (6) Le traitement des données
- (7) L'interprétation des données
- (8) Diffuser les résultats

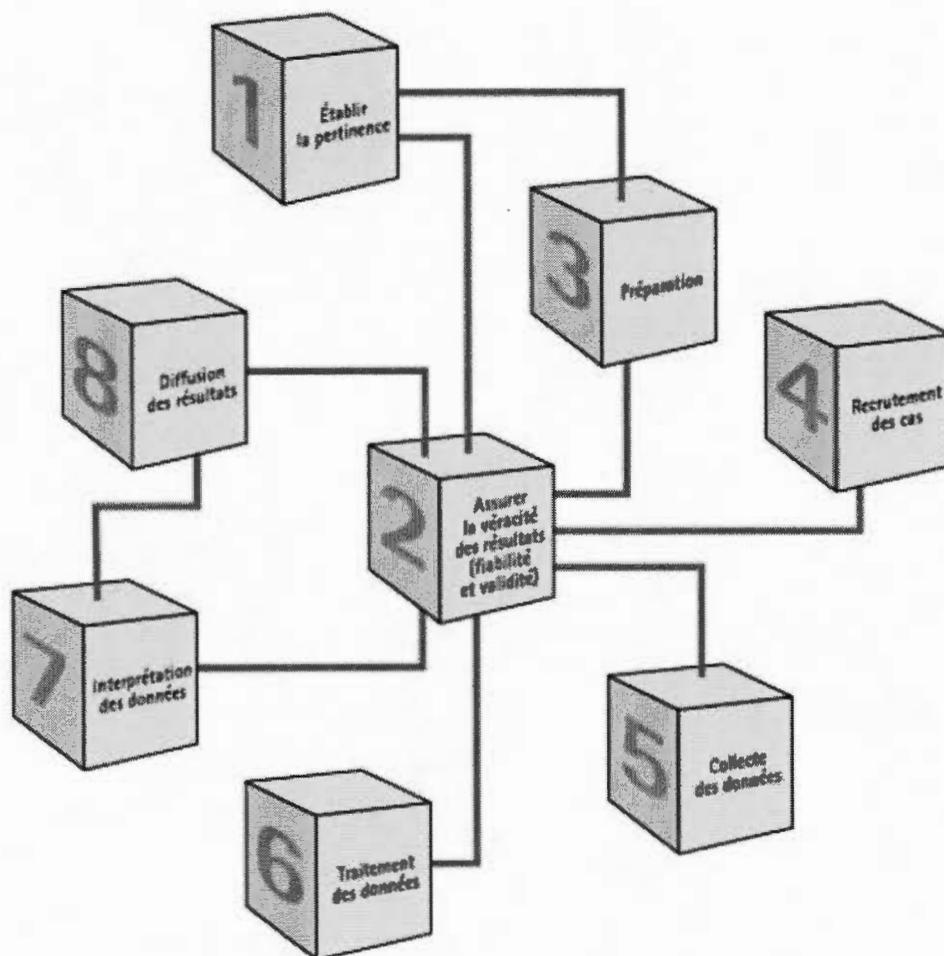


Figure 3.2 Huit étapes de réalisation d'une étude de cas extrait de Gagnon (2012)

Pour la création de notre mémoire, nous nous appuyons sur le guide fourni par Gagnon (2012) des différentes étapes de la réalisation de l'étude de cas (Tableau 3.3).

Tableau 3.3 Guide de réalisation de l'étude de cas par Gagnon (p.5-9)

Étapes	Objectifs	Activité
Établir la pertinence	Vérifier que l'étude de cas comme méthode de recherche est pertinente et appropriée.	Définir l'approche de recherche et circonscrire la problématique. Vérifier si la problématique est de type exploratoire ou empirique brut. Répondre à certaines questions conçues pour établir la pertinence.
Assurer la véracité des résultats	Démontrer que les résultats sont rigoureux, véridiques et représentatifs de la réalité observée	Fiabilité interne et externe : (i) montrer que d'autres chercheurs arriveraient aux mêmes conclusions s'ils traitaient et interprétaient les mêmes données (ii) obtiendraient les mêmes résultats avec des cas similaires. Validité interne et externe : (i) s'assurer que le phénomène décrit est une représentation authentique de la réalité observée (ii) fournir des résultats comparables avec d'autres cas. Validité de construit : démontrer que termes abstraits et significations sont partagés à travers le temps, les sites et les populations.
Préparer	Avoir un cadre de recherche suffisamment développé et précis pour assurer une collecte rigoureuse des données	Développer la question de recherche /choisir le type d'étude de cas approprié/ Choisir les sources potentielles de collecte des données/ Identifier la population cible et établir les critères de sélection des cas. Élaborer les instruments, les protocoles et le schéma de codification des données /Se familiariser avec le phénomène à étudier
Recruter les cas	Disposé d'un nombre suffisant de cas qui répondent aux critères retenus et permettent de réaliser la recherche en respectant les budgets/temps prévu	Acquérir une bonne connaissance de la dynamique du milieu Vérifier les relations entre le chercheur et les participants. Surveiller la répartition géographique des cas Recruter plus de cas que le nombre requis
Collecter les données	Recueillir des données riches et crédibles/Respecter les règles d'éthique	Se faire accepter dans les milieux observés et pratiquer l'observation et l'écoute active. Recourir au plus grand nombre de sources d'information
Traiter les données	Effectué un examen fertile des données recueillies	Nettoyer et codifier les données recueillies pour faciliter leur analyse. Analyser les données codifiées/ Rédiger chaque étude de cas
Interpréter les données	Produire des explications théoriques éprouvées plausibles du phénomène étudié	Générer des propositions explicatives du phénomène. Vérifier la concordance des propositions explicatives avec les données. Comparer les propositions qui concordent avec la littérature existante
Diffuser les résultats	Contribuer au corpus des connaissances sur le phénomène	Choisir le type de diffusion/ Cerner les exigences du média et les caractéristiques de l'audience visée/ Élaborer un plan du contenu, rédiger et diffuser les résultats

## 3.2 Réalisation de l'étude de cas

Nous allons justifier et construire notre étude de cas selon les huit étapes proposées par Gagnon.

### 3.2.1 Établir la pertinence de l'étude de cas

L'étude de cas est vraisemblablement l'outil le plus adapté pour supporter notre travail. Particulièrement, dans le cas où les frontières entre phénomène et contexte ne sont pas clairement établies (Yin, 1994). Le phénomène étudié ici concerne l'implantation des technologies de l'IoT dans le quotidien des citoyens, des gestionnaires et techniciens pour améliorer la qualité des services fournis par la ville. Le contexte, celui de la ville intelligente, oriente les chercheurs dans leur sujet d'étude et les gestionnaires des villes dans leur politique urbaine. L'étude du cas de la ville de Montréal nous permettra de comprendre le lien entre l'IoT et la VI et d'analyser la coévolution qui peut exister entre ces deux thèmes.

Pour une meilleure appréciation du choix méthodologique adopté, voici quelques caractéristiques du terrain de notre étude :

- a) Les technologies de l'IoT sont un écosystème de technologies devant interagir entre elles, ce qui rend complexe et unique chaque projet (Jiong, Gubbi, Marusic, & Palaniswami, 2014);
- b) Une ville et sa gestion s'organisent autour d'une multitude d'acteurs humains et de technologies de l'information, c'est cela qui en fait une ville intelligente : Une ville intelligente est un environnement qui regroupe des acteurs institutionnels, industriels (économiques, technologiques) et citoyens dans un ensemble de projets d'amélioration des services par la mise en place d'applications innovantes en misant sur les TI et de stimulation de l'innovation;

c) Les questions sur la VI et l'IoT sont dans une phase de recherche et de débat auprès de la communauté. De nombreuses conférences visent à discuter de thèmes au cours de la dernière année (Tableau 3.4) :

Tableau 3.4 Calendrier des conférences ISC2 passées

Event	Dates	Location
2016 International Conference on Smart Green Technology in Electrical and Information Systems (ICSGTEIS)	6-8 October 2016	Island of God, Bali
IEEE International Forum Smart Grids for Smart Cities (SG4SC)	16-18 October 2016	Paris, France
IEEE Technology Time Machine 2016 (TTM 2016)	20-21 October 2016	San Diego, California, USA
IEEE SENSORS 2016	30 October - 2 November 2016	Orlando, Florida, USA
2016 IEEE 19th International Conference on Intelligent Transportation Systems (ITSC 2016)	1-4 November 2016	Rio de Janeiro, Brazil
IEEE 14th International Conference on Smart City (SmartCity 2016)	12-14 December 2016	Sydney, Australia
2017 6th International Conference on Smart Cities and Green ICT Systems (SMARTGREENS)	23-25 April 2017	Porto, Portugal
The 1st EAI International Conference on Smart Grid Assisted Internet of Things (SGIoT 2017)	11-13 July 2017	Sault Ste. Marie, Ontario, Canada

d) La compréhension du succès ou de l'échec d'une implantation des technologies de l'IoT dans la ville reste un enjeu politique et financier (Batty, 1990, 2012, 2013; Batty et al., 2012; Frenois, 2016; Noisette, 2013);

e) L'intégration de nouvelles technologies IoT de soutien aux activités des villes est difficile et un retour sur expérience est nécessaire pour comprendre l'évolution de la VI et de l'IoT afin de réussir les futurs projets;

Notre travail actuel s'insère dans une démarche plus globale de compréhension et d'analyse de l'implication de l'IoT dans les projets de VI. Nous avons voulu nous appuyer sur le projet Montréal Ville Intelligente, mise en avant depuis 5 ans par la ville, pour évaluer comment les projets utilisant l'IoT ont fait évoluer les services de la VI.

Ce projet sert de base à notre étude de cas pour positionner les services dans VI en fonction de la disponibilité des technologies IoT dans les projets.

### 3.2.2 Assurer la véracité des résultats

La seconde étape vise à assurer la véracité des résultats en répondant à des prépondérants de fiabilité et de validité.

La fiabilité consiste à s'assurer que d'autres chercheurs arriveraient aux mêmes conclusions s'ils traitaient et interprétaient les mêmes données et qu'un autre chercheur qui prendrait les mêmes cas ou des cas similaires obtiendrait sensiblement les mêmes résultats (Gagnon, 2012).

La validité consiste à s'assurer que les phénomènes relevés et décrits sont des représentations authentiques de la réalité observée et (2) à fournir des résultats qui peuvent être comparés et contrastés avec des d'autres cas (Gagnon, 2012).

Le choix de la source des données nous aide à assurer la véracité de nos résultats. Notre source initiale de données provient des auteurs cités dans notre revue littérature (Chapitre 2). Pour la plupart, leurs publications sont approuvées par leurs pairs. Cela est essentiel pour nous assurer une base de travail saine. C'est à partir de ces recherches que nous avons établi notre première matrice de coévolution de la VI et de l'IoT.

En outre, une quantité importante de données secondaires provient directement de journaux techniques, journaux généralistes, livres blancs, communiqués de presse, documentations techniques... Il faut prendre en compte de possibles biais d'opinions dans certaines publications, car il ne faut pas oublier l'aspect politique de certaines décisions et l'aspect promotionnel de certaines solutions.

Des données primaires sont également fournies par le chercheur lui-même. Certains outils IoT mis en place pour les solutions sont physiquement observables par le chercheur. Cela induit donc que ces données sont également accessibles à d'autres chercheurs.

Enfin, une (4) dernière source primaire s'appuie sur des données collectées auprès d'experts afin d'élaborer notre matrice d'analyse théorique. Pour cette recherche des entretiens ont été réalisés. Conformément aux exigences de la politique de l'UQAM, le Comité d'Éthique de la Recherche pour les étudiants de l'ESG, nous a autorisés à réaliser ces entretiens après analyse de notre méthodologie de recherche ainsi que de notre questionnaire (Annexe A et B). Une certification d'approbation éthique (n° 1747) a été obtenue le 31-03-2017 auprès du CERPE1 science de la gestion (Annexe B).

La véracité des résultats est essentielle dans la réalisation de cette recherche et nos données répondent aux exigences de véracité fixer par l'étude de cas.

### 3.2.3 La préparation

L'étape de préparation démarre dès le chapitre 1 avec l'élaboration des questions et objectifs de recherche. De plus, le choix d'élaborer un modèle de coévolution de la VI et de l'IoT découle du bilan de la revue de littérature (Chapitre 2). Nous voulions nous inscrire dans une démarche de continuité avec la forme suivie par les auteurs pour décrire leurs résultats par une représentation sous forme de matrice. Les auteurs qui ont mené des recherches profondes dans ce domaine ont eu besoin de rendre leurs résultats visuels, notamment lorsqu'il s'agit de synthétiser des niveaux d'évolution.

Selon la définition Larousse une matrice est un Arrangement ordonné d'un ensemble d'éléments, sous forme d'un tableau à double entrée comportant, dans le cas général, n lignes et m colonnes. Dans le cas de notre recherche, nous allons nous appuyer sur les différentes matrices produites sur la ville intelligente et des matrices sur l'internet des objets afin de les ordonner sous forme de tableau pour expliquer leur coévolution.

Dans un premier temps, nous présenterons un modèle initial que les gestionnaires pourront commenter lors d'entrevues avec des questions ouvertes afin de corriger et d'améliorer notre première version de matrice (Annexe C pour le modèle de question ouverte).

L'échantillon sera constitué de huit personnes (Tableau 3.1). Il s'agira d'entrevue de type direct, car les questions seront posées en face à face.

L'analyse de la revue littérature et les retours des experts que nous avons sélectionnés nous ont permis d'élaborer une version théorique de notre modèle de coévolution qui sera expliqué au chapitre 4.

Dans un second temps, nous nous intéresserons à la ville de Montréal. En parallèle, nous affinerons le modèle en interrogeant des membres du Bureau de la Ville Intelligente de Montréal sur le cas précis de nos trois projets sélectionnés ainsi qu'en étudiant les publications autour de ses projets (site des fournisseurs de solution, organisme gestionnaire des projets, article de presse, rapports publics,...).

Tableau 3.5 Poste des responsables de la VI interrogé

Fonction	Date
Directeur technologique Quartier des Spectacles	8 mars 2017
Directeur par intérim du Bureau de la ville intelligente et numérique	13 novembre 2017
Chargé d'expertise et de pratique – Gouvernance TI et partenariat	13 novembre 2017
Conseiller planification – données ouvertes	13 novembre 2017

La nécessité de recueillir la vision actuelle et à venir de la VI est essentielle afin de bien comprendre les enjeux de la VI à la ville de Montréal.

#### 3.2.4 Le recrutement du cas

La ville de Montréal s'impose comme un choix d'évidence pour notre étude. En effet, la ville s'inscrit dans une démarche d'urbanisme moderne qui vise à en faire un modèle mondial de ville intelligente. À cette volonté politique s'ajoute le dynamisme de la recherche et des entrepreneurs dans le domaine de l'IoT.

Le cas de la ville de Montréal sera traité spécifiquement dans notre chapitre 6 afin de nous permettre de raffiner notre modèle théorique de matrice de coévolution de la VI et de l'IoT.

De plus, le choix des projets que nous avons sélectionnés illustre cet état de fait et nous permettrons d'étudier l'intrication entre la ville intelligente et l'IoT. Le chapitre 5 de notre recherche explicitera le choix des différents projets de services dans les VI que nous avons choisi d'exploiter.

Les deux thèmes majeurs de notre domaine sont la mobilité urbaine et la consommation d'énergie (Union Européenne, 2014).

C'est pourquoi nous avons choisi l'étude de trois projets en relation avec ces thèmes (Tableau 3.6).

Tableau 3.6 Les projets étudiés dans la ville de Montréal

N° projet	Description	Organisme public responsable
Thème : Smart Mobility		
Projet 1	Gestion des espaces de stationnement en ville	Stationnement de Montréal
Projet 2	Gestion des horaires de bus	Société de Transport de Montréal
Thème : Smart Energy		
Projet 3	Relève de la consommation électrique	Hydro-Québec

Nos deux premiers projets concernent la « Smart Mobility ». Anthopoulos (2015) en fait un des domaines les plus importants pour le développement de la VI. Dans ce type de projet, l'IoT représente un fort potentiel d'évolution, notamment pour améliorer les interactions avec les citoyens (S. Kim & Kim, 2016). Le caractère vaste de ce domaine nous a amenés à sélectionner deux projets : la gestion et allocation des espaces de stationnement (projet 1) et l'amélioration des transports publics (projet 2). Une taxonomie de la Smart Mobility permet de mettre en évidence l'apport des TIC selon la maturité du service proposé (Benevolo, Dameri, & D'Auria, 2016). C'est ce que nous cherchons à étudier dans cette recherche.

Le dernier projet étudié est dans le domaine de la « Smart Energy » qui représente un intérêt particulier pour les gouvernements (S. Kim & Kim, 2016). Il s'agit d'un domaine en plein essor. Ainsi parmi les prochaines conférences de l'IEEE International Smart City Conference (ISC2), groupe d'intérêt pour les VI<sup>4</sup>, cinq concernent directement le thème des Smart Grid (Smart Energy) (Tableau 3.3). D'où l'intérêt dans notre recherche d'intégrer un projet ayant trait à la Smart Energy.

La sélection du cas des compteurs intelligents repose sur la disponibilité de retour d'expériences récentes de tels projets (compteur Hydro-Québec, compteur Linky (2011 EDF), compteur Gazpar (2015 GrDF)).

### 3.2.5 La collecte des données

La partie collecte des données (« collecting the evidence », Yin, 1994) est essentielle dans l'étude de cas. Les sources de ces données sont multiples : documentations, archives, entretiens, observations directes, observations participantes, artefacts techniques et culturels.

Pour ce mémoire, nous allons privilégier deux techniques de collecte de données : des entrevues et la recension des écrits. Les techniques de collecte de données sont particulièrement liées à la nature qualitative de notre recherche.

Nous privilégions une technique de collecte de données secondaires pour approfondir nos connaissances sur le sujet. Les trois projets sélectionnés disposent d'importantes ressources secondaires dans la littérature. Ces projets innovants sont souvent mis en avant par les institutionnels et industriels comme vitrine de leur savoir-faire et de leur volonté.

Ainsi des données secondaires provenant de Stationnement Montréal (projet 1), la Société de Transport de Montréal (projet 2) et d'Hydro-Québec (projet 3) sont

---

<sup>4</sup> IEEE Smartcities. (date n.c.). *Conferences*. Récupéré de : <http://smartcities.ieee.org/conferences-events.html>

facilement accessible sur leurs sites internet, à partir des partenaires industriels ou des publications de presse.

De plus, des données secondaires provenant des projets de VI déjà concrétisés viendront également soutenir les données spécifiques à la ville de Montréal. Elles permettent d'identifier le service qui est visé par chaque cas d'application. Elles se basent sur l'observation des technologies qui ont été déployées pour promouvoir le service auprès des citoyens.

L'utilisation de la technique de collecte par entrevue est effectuée afin d'élaborer notre matrice d'analyse théorique en nous appuyons sur les connaissances d'experts.

Le recours à de multiples sources de données permet des mesures diversifiées du même phénomène (Van Driel & De Jong, 2001; Yin, 1994, 2003). Ce choix méthodologique se révèle en accord avec les écrits qui précisent que la combinaison de plusieurs sources de données favorise l'émergence de différentes facettes du cas permettant de corroborer ou encore d'aborder différentes questions (Yin, 1994). Selon Stake (1995), la préservation des réalités multiples et des points de vue différents ou même contradictoires ouvre la voie aux interprétations.

### 3.2.6 Le traitement et interprétation des données

Il s'agit ici de la phase la plus complexe de l'étude de cas, et sans doute la plus susceptible d'introduire des biais de la part du chercheur.

Notre première étape a été de trier la quantité d'information fournie par les différents acteurs. La difficulté principale est de bien différencier les données purement « marketing » de la réalité du projet. Ainsi les données fournies par les organismes publics ou privés ont été croisées avec la réalité des solutions technologiques mises en œuvre pour établir leur véracité. De plus, nous avons mis les projets étudiés dans le cadre de la ville de Montréal en parallèle avec ceux réalisés dans d'autres villes du monde pour permettre l'extension de notre raisonnement.

Notre deuxième étape, les rencontres avec les experts, a donné lieu à des notes de discussion manuscrites qui ont été reportées dans des fichiers Word par la suite. Ces entretiens, pour lesquels nous avons préparé des questionnaires, nous ont permis de cadrer notre étude et d'élaborer un premier modèle théorique de coévolution entre la VI et l'IoT. En confrontant le travail intellectuel du chercheur à différents points de vue d'experts du domaine étudié, nous avons continué de raffiner cette matrice à l'aide du cas de la ville de Montréal.

### 3.2.7 L'analyse et l'interprétation des données

Finalement, notre dernière étape, l'interprétation des données, découle naturellement de notre démarche et a été consolidée tout au long de la recherche. C'est ainsi qu'à travers l'étude des projets de la ville de Montréal nous avons pu affiner notre matrice de coévolution et mettre en lumière le lien entre la VI et les technologies de l'IoT.

Nous reviendrons sur nos objectifs et questions de recherche afin d'y répondre clairement à partir du cas de la Ville de Montréal et des trois projets sélectionnés.

Plus précisément, nous aurons deux étapes d'évolution majeur de notre modèle de coévolution à partir de l'utilisation des retours d'expert. En effet, après avoir établi une première trame de modèle (qui sera présenté dans l'introduction du chapitre 4), nous avons voulu déterminer si notre modèle théorique initial semblait pertinent auprès d'experts. Dans ces conditions nous permettrons aux experts de critiquer la pertinence des niveaux que nous avons sélectionné ainsi que celle des caractéristiques associées. La forme du modèle sera également à discuter avec les experts. Le résultat de ce premier affinage se retrouve dans le modèle proposé dans le chapitre 4 section 1,2,3 et 4. Selon nous il s'agissait toujours d'un modèle théorique de coévolution qui pourrait être améliorer.

A travers les exemples de projet (chapitre 5) et le cas de la ville de Montréal (chapitre 6) nous sommes allé dans une utilisation plus concrète. Les experts, qui travaillent pour le bureau de la ville intelligente de Montréal, auxquelles nous avons expliqué

notre modèle théorique nous ont permis d'intégrer des problématiques qui leurs sont propres. A partir de cela nous avons proposés un modèle de coévolution encore une fois affiné en conclusion de ce travail notamment sur les questions de gouvernance, de standard et d'éthique.

### 3.2.8 Diffusion des résultats

Ce travail s'inscrit dans une démarche plus globale de recherche sur la VI dans la ville de Montréal par l'ESG UQAM. Ces projets ont vocations à être présentés dans des colloques, évènement, conférence, rencontre pour faire avancer l'état de la recherche.

Il s'agit pour l'Université de favoriser le partenariat entre différents départements afin de comprendre le phénomène de la VI plus particulièrement dans la ville de Montréal :

- Baromètre de l'accessibilité et de l'utilisabilité des services numériques de la ville intelligente et numérique (Romero-Torres & Bonneau, 2017)
- État des lieux de la « civic tech » à Montréal : cartographie des initiatives montréalaises de technologie civique (Langevin & Merveille, 2017)
- Les immeubles intelligents dans la ville intelligente : une perspective écosystémique (Serres & Sicotte, 2017)
- Des industries aux nouvelles technologies : dynamiques de quartiers à Montréal et au Canada (Martin, Behrens, & Boualam, 2017)
- Co-construction d'un agenda de recherche stratégique sur les espaces de coworking et les enjeux urbanistiques à Montréal (Ananian, Paulhiac, & Lachapelle, 2017)

Après l'explication de la méthodologie que nous allons suivre, les projets sélectionnés vont être présentés plus en détail.

## CHAPITRE 4

### MODÈLE D'ANALYSE DE LA COÉVOLUTION DE LA VI ET DE L'IOT

Ce chapitre définit les bases de notre modèle théorique d'analyse de la coévolution de la VI et de l'IoT. Ce modèle découle naturellement de la revue littérature qui a été réalisée dans la revue littérature ainsi que des échanges que nous avons eu avec nos experts.

Le modèle initial que nous avons développé s'articulait autour de 6 : Primitif, Digitalisation, Semi-Automatisation, Automatisation, Dynamique et Optimisation. Pour décrire ses 6 niveaux, nous avons choisi un modèle de matrice à trois colonnes.

La première colonne désignait le niveau d'un projet dans la VI, la seconde colonne décrivait les caractéristiques des processus/service dans une VI et la troisième colonne désignait l'utilisation des technologies IoT.

Nous avons initialement justifié nos 6 niveaux de la manière suivante :

- Primitif : niveau qui n'utilise pas du tout les technologies de l'IoT dans la réalisation du service et qui exploite uniquement la main-d'œuvre humaine
- Digitalisation : niveau qui introduit un peu les technologies de l'IoT dans la réalisation du service principalement en offrant de l'affichage numérique sans possibilité de communiquer à distance.
- Semi-automatisation : niveau qui introduit le transfert des données produites par les technologies de l'IoT de manière unilatérale, c'est-à-dire de l'objet vers un

opérateur. Dans ces conditions l'humain doit toujours se déplacer pour collecter la donnée.

- Automatisation : niveau qui introduit la possibilité de communiquer de manière bilatérale entre l'objet et un opérateur.
- Dynamique : niveau qui introduit une réponse du système sans l'intervention humaine à partir des données envoyées à distance. La réponse intégrera une action à suivre pour l'objet selon les protocoles préétablis.
- Optimisation : niveau qui supprime l'intervention humaine dans la prise de décision et dans les actions à la réalisation du service. L'utilisation d'outils prédictifs permettra de prendre des décisions en amont de l'apparition de problème.

La figure 4.1 symbolise l'idée que l'on se faisait de notre premier modèle de coévolution.

Niveau	Caractéristiques des processus/service dans une VI	Utilisation des technologies IoT
Primitif	Niveau d'intervention humaine Gestion de la donnée Type de données Fréquence de mise à jour Accès à l'information	Fonctionnalité principale utilisée Déploiement géographique Puissance du déploiement
Digitalisation	Idem	Idem
Semi-Automatisation	Idem	Idem
Automatisation	Idem	Idem
Dynamique	Idem	Idem
Optimisation	Idem	Idem

Figure 4.1 Modèle initial de coévolution de l'IoT et de la VI

Dans la suite de ce chapitre, nous allons expliquer comment notre modèle a évolué. Les changements majeurs que nous avons retenus sont : (a) une séparation en deux parties de notre modèle avec d'un côté les niveaux d'évolution et d'un autre les différentes caractéristiques mieux définies, (b) l'ajout d'une nouvelle colonne l'exemple des technologies de l'IoT facilitatrice qui ancrera le niveau dans des applications réelles et (c) la disparition du niveau semi-automatisation. Ce niveau n'avait pas assez de contenu pour se justifier et il reposait sur l'idée qu'il existe des technologies qui ne permettent que le transfert unilatéral de la donnée. Par exemple la technologie de Sigfox au départ n'utilisait que le transfert unilatéral mais ce n'est plus le cas aujourd'hui (cela nous l'a été confirmé par nos experts).

#### 4.1 Structure du modèle de coévolution

Pour expliquer l'élaboration de notre matrice de coévolution, il convient de revenir sur notre objectif principal qui est de faire le lien entre la VI et de l'IoT. Par conséquent, la structure du modèle va s'articuler autour de ces deux thèmes principaux. Nous mettrons en parallèle des évolutions de services de la ville et des évolutions de technologies de l'IoT pour mettre en lumière la relation entre eux.

Notre modèle se découpe en deux parties :

- une première partie (tableau 4.1 - gauche) qui définit les cinq niveaux de la coévolution de la VI et de l'IoT déterminés à partir de la revue de littérature
- une deuxième partie qui décrit les quinze critères d'analyse relatifs à chaque niveau, et qui se classent dans trois colonnes (tableau 4.1 - droite) qui traitent (a) des caractéristiques du service/processus dans la VI (b) de l'utilisation des technologies IoT de soutien à ces services (c) d'exemples de technologies facilitatrice du niveau.

Tableau 4.1 Structure du modèle de coévolution de la VI et de l'IoT (théorique)

Niveau d'évolution	Caractéristiques des processus/ services dans la VI	Utilisation des technologies de l'IoT	Exemple de technologie facilitatrice
0 : Primitif	1. Niveau d'intervention humain requis	i. Fonctionnalité principale utilisée	a) Capture des données
1 : Digitalisation	2. Gestion de la donnée par l'humain	ii. Gestion de la donnée par la technologie	b) Communication des données
2 : Automatisation	3. Type de données	iii. Portée de la technologie	c) Entreposage des données
3 : Dynamique	4. Fréquence de mise à jour	iv. Qualité de la donnée	d) Traitement des données/ transaction
4 : Optimisation	5. Accès à l'information		e) Analyse des données
			f) Disponibilité des données

Étant donné que chaque niveau de coévolution (tableau 4.1 – partie gauche) des services de la VI et de l'IoT sera défini en fonction de thèmes porteurs et de critères d'analyse que nous avons identifiés (tableau 4.1 – partie droite), il est utile de commencer par une explication de ces thèmes et critères.

#### 4.2 Thèmes majeurs de la matrice de coévolution (colonnes)

Les colonnes de la matrice définissent les trois thèmes majeurs que nous avons identifiés pour mettre en relation la VI et l'IoT. Le tableau 4.2 reprend la partie de droite du tableau 4.1. Cette présentation de la matrice de coévolution de la VI et de l'IoT est la version réalisée après les ajustements discutés et suggérés par les experts suite aux entretiens.

Tableau 4.2 Structure des caractéristiques pour chaque niveau

Caractéristiques des processus/ services dans la VI	Utilisation des technologies de l'IoT	Exemple de technologie facilitatrice
1. Niveau d'intervention humain requis	i. Fonctionnalité principale utilisée	a) Capture des données
2. Gestion de la donnée par l'humain	ii. Gestion de la donnée par la technologie	b) Communication des données
3. Type de données	iii. Portée de la technologie	c) Entreposage des données
4. Fréquence de mise à jour	iv. Qualité de la donnée	d) Traitement des données/transactions
5. Accès à l'information		e) Analyse des données
		f) Disponibilité des données

La première colonne est celle des caractéristiques du service/processus dans la VI. En évoluant d'un niveau à l'autre, la réalisation d'un service change. Nous avons donc choisi d'étudier ces changements dans cette colonne. L'exécution d'un service repose sur une suite de processus. Ce thème peut être exploré en fonction de cinq critères d'évaluation (Tableau 4.2 Colonne 1) : (1) Niveau d'intervention humain requis (2) Gestion de la donnée par l'humain (3) Type de données (4) Fréquence de mise à jour (5) Accès à l'information. Ces critères permettent de voir l'évolution que subit un service ou un processus dans la VI. Dans de nombreux cas, nous allons surtout observer dans la matrice une évolution de certains processus qui vont impacter la réalisation finale du service.

La deuxième colonne est celle de l'utilisation des technologies de l'IoT. D'un niveau à l'autre, nous allons voir que les services demandent des technologies IoT spécifiques touchant de plus en plus de processus dans l'exécution du service. La mise en parallèle avec la première colonne nous permettra de mettre en relation la VI et l'IoT. Ce thème peut être exploré en fonction de quatre critères (Tableau 4.2

Colonne 2) : (i) Fonctionnalité principale utilisée (ii) Gestion de la donnée par la technologie (iii) Portée de la technologie (iv) Qualité de la donnée

Ces critères permettent de voir l'impact de l'apport des technologies de l'IoT et ainsi de suivre son évolution au cours des différents niveaux.

La troisième colonne est celle des exemples de technologies facilitatrices de l'IoT. Il s'agit d'une vision plus pratique et moins théorique que les deux colonnes précédentes. La raison pour laquelle nous parlons d'exemples est que les éléments présentés ne sont pas exhaustifs, mais ils permettent de se faire une idée du type d'outils nécessaires à la réalisation du niveau. Ce thème peut être exploré en fonction de six critères (Tableau 4.2 Colonne 3) : (a) Capture des données (b) Communication des données (c) Entreposage des données (d) Traitement des données/transaction (e) Analyse des données (f) Disponibilité des données Ces critères permettent d'identifier la structure derrière chaque niveau et ainsi d'évaluer les besoins technologiques lors de la réalisation de projet correspondant à ce niveau d'évolution.

Dans la prochaine section, nous élaborons chacun des critères d'évaluation dans chacun des trois thèmes de la matrice (colonnes)

#### 4.3 Les critères d'évaluation des niveaux d'évolution de services dans la VI

Pour pouvoir suivre l'évolution en fonction des différents niveaux, nous avons également mis en place des critères d'évaluation pour chaque colonne du modèle.

Pour les Caractéristiques des services/processus dans la VI (Tableau 4.2 Colonne 1), nous avons sélectionné cinq critères pour décrire le niveau, ces critères sont :

1. Niveau d'intervention humaine requis : description de la dépendance de l'humain dans la réalisation du service. Ce critère permet d'avoir un suivi de l'implication humaine, qui pourra être comparé avec l'implication des technologies de l'IoT, dans les niveaux d'évolution.
2. Gestion de la donnée par l'humain : description du rôle de l'humain avec les données produites (capture, transfert, traitement, analyse et action).
3. Type de données : qualification de la donnée produite par le service. Les règles pour ce critère sont la forme de la production de la donnée (physique/digitale), manière de mise à jour (statique si la donnée peut être déplacée/dynamique)
4. Fréquence de mise à jour : périodicité des mises à jour de l'information
5. Accès à l'information : description de la manière dont la donnée est récoltée. Plusieurs cas de figure : en direct (physiquement accessible), push (l'individu/utilisateur choisit d'envoyer la donnée), opt-out actif (l'individu/utilisateur autorise l'envoi de la donnée automatique), opt-out passif (la donnée est envoyée sans autorisation préalable)

Pour l'Utilisation des technologies de l'IoT (Tableau 4.2 Colonne 2), nous avons sélectionné quatre critères pour décrire le niveau, ces critères sont :

- i. Fonctionnalité principale utilisée : description du rôle le plus important de la technologie IoT dans la réalisation du service.
- ii. Gestion de la donnée par la technologie : description du rôle de la technologie IoT avec les données produites (capture, transfert, traitement, analyse et action). Ce

critère fonctionne en parallèle avec le critère gestion de la donnée par l'humain pour montrer l'évolution entre chaque niveau.

- iii. Portée de la technologie : distance de travail nécessaire pour la réalisation du service. Ce critère décrit les besoins d'outils de communication courte, moyenne ou longue distance dans un des processus du service ou leur absence.
- iv. Qualité de la donnée : degrés de raffinement des données passant par les technologies de l'IoT allant d'une donnée brute aux résultats d'une réflexion complexe.

Pour les exemples des technologies facilitatrices de chaque niveau (Tableau 4.2 Colonne 3), nous avons déterminé six critères d'analyse reliés aux technologies IoT requises pour réaliser un service dans un niveau donné – et posé les questions suivantes:

- a) Capture des données : quelle technologie de capture de données est utilisée dans ce niveau ?
- b) Communication des données : quel type de réseau et protocole de communication de données sont utilisés dans ce niveau ?
- c) Entreposage des données : quels types de stockage de données est utilisé dans ce niveau ? Où sont hébergées les données ?
- d) Traitement des données/transactions : quelles technologies de traitement des données/applications sont utilisées dans ce niveau ?
- e) Analyse des données : quelles technologies d'analyse de données sont utilisées dans ce niveau ?
- f) Disponibilité des données : de quelle manière peut-on retrouver les données produites dans ce niveau ?

Il faut mettre en adéquation les exemples de technologies avec les critères que nous avons décrits dans les deux colonnes précédentes.

#### 4.4 Les niveaux de coévolution de la VI et de l'IoT

Comme le premier objectif de la recherche est d'identifier et de décrire les niveaux d'évolutions dans la VI en fonction de l'IoT (tableau 4.1 - gauche), il devient nécessaire de s'arrêter sur une définition des différents niveaux. Il a été montré dans la revue de littérature qu'il n'existait pas de consensus quant à cette définition.

Cependant, en nous appuyant sur les travaux analysés lors de la revue littérature et des retours de nos experts, nous avons pu fixer cinq niveaux d'évolution qui permettent de décrire la relation entre un service dans la VI et des technologies de l'IoT. La liste des niveaux d'évolution est la suivante :

##### 4.4.1 Niveau 0 : Primitif

Nous nommons Primitif ce niveau initial pour garder l'idée qu'un service peut avoir été ou est encore réalisé sans l'intervention des technologies de l'IoT (Tableau 4.3).

Du point de vue des caractéristiques (Tableau 4.3, colonne 1), le niveau 0 correspond à un niveau d'intervention humaine maximum avec un service qui est exécuté dans son entièreté par l'humain.

La gestion de la donnée dépend de l'humain pour sa capture, son transfert, son traitement, son analyse jusqu'à l'action finale.

Le type de donnée produite sera souvent défini par l'observation physique d'un phénomène à un moment statique dans le temps.

La fréquence de mise à jour sera dépendante de la périodicité des procédures de collecte qui sont appliquées par les gestionnaires.

L'accès à la donnée se fait en direct habituellement par une observation visuelle.

Du point de vue de l'utilisation des technologies IoT (Tableau 4.3, colonne 2), par définition, il n'y en a pas dans le niveau Primitif.

Tableau 4.3 Niveau 0 de la matrice de coévolution de la VI et l'IoT

Caractéristiques des processus/services dans la VI	Utilisation des technologies de l'IoT	Exemple de technologie facilitatrice du niveau
1. Niveau d'intervention humaine requis : intervention maximum de l'humain	i. Fonctionnalité principale utilisée : aucune	a) Capture de données : absente
2. Gestion de la donnée par l'humain : capture, transfert, traitement, analyse et action finale	ii. Gestion de la donnée par la technologie : aucune	b) Communication des données : absente
3. Type de données : physique, statique	iii. Portée de la technologie : aucune	c) Entreposage des données : Absent
4. Fréquence de mise à jour : dépend des procédures du gestionnaire	iv. Qualité de la donnée : aucune	d) Traitement des données-transactions : absent
5. Accès à l'information: en direct		e) Analyse des données : absent
		f) Disponibilité des données : absent

Dans la pratique, cela correspond à des niveaux n'utilisant pas la technologie, mais très souvent des outils mécaniques ou l'humain (Tableau 4.3, colonne 3).

#### 4.4.2 Niveau 1 : Digitalisation

Ce niveau introduit l'utilisation de l'IoT dans les services des VI. Nous parlons de Digitalisation, car nous passons d'une donnée accessible mécaniquement à une donnée numérique.

Du point de vue des caractéristiques du service (Tableau 4.4, colonne 1), le niveau 1 correspond à un niveau d'intervention humain qui demeure important. La gestion de la donnée dépend encore de l'humain pour son transfert, son traitement, son analyse jusqu'à l'action finale. Le type de donnée produite sera défini par une donnée numérique d'un phénomène physique observé à un moment statique dans le temps.

La fréquence de mise à jour sera dépendante de la périodicité des procédures de collecte qui sont appliquées par les gestionnaires. L'accès à l'information se fait en direct ou en push très proche.

Du point de vue de l'utilisation des technologies de l'IoT (Tableau 4.4, colonne 2), le niveau 1 correspond à la capacité de capturer des données physiques en les transformant en données digitales.

La gestion de la donnée par les technologies de l'IoT concerne exclusivement la capture de la donnée. La portée de la technologie varie selon l'accès à la donnée initiale, si la donnée est accessible (1) en direct alors il n'est pas utile d'avoir des technologies de communication à distance (2) en push très proche alors il faut des technologies à porte courte, voire très courte.

La qualité de la donnée est initialement brute et le demeure par son passage à travers les technologies de l'IoT.

Tableau 4.4 Niveau 1 de la matrice de coévolution de la VI et l'IoT

Caractéristiques des processus/services dans la VI	Utilisation des technologies de l'IoT	Exemple de technologie facilitatrice du niveau
1. Niveau d'intervention humaine requis : demeure important	i. Fonctionnalité principale utilisée : affichage et capture de données physiques	a) Capture de données : tag RFID, NFC, code-barres, QR Code
2. Gestion de la donnée par l'humain : transfert, traitement, analyse et action finale	ii. Gestion de la donnée par la technologie : capture	b) Communication des données : RFID, NFC, lecteur visuel
3. Type de donnée : numérique, statique	iii. Portée de la technologie : aucune (en direct), très courte/courte (push très proche)	c) Entreposage des données : disque dur interne
4. Fréquence de mise à jour : dépend des procédures du gestionnaire	iv. Qualité de la donnée : brute sans transformation	d) Traitement des données-transactions : absent
5. Accès à l'information: en direct, push très proche		e) Analyse des données : absent f) Disponibilité des données : absent

Dans la pratique, les exemples de technologies facilitatrices (Tableau 4.4, colonne 3) impliquent l'utilisation de systèmes à affichages digitaux permettant la lecture numérique. Dans le cas de l'accès à la donnée en push très proche des solutions impliquant des tags RFID, NFC, des code-barres ou des QR code peuvent être envisagés ainsi que les lecteurs appropriés.

#### 4.4.3 Niveau 2 : Automatisation

Ce niveau introduit le transfert de la donnée collectée. Nous parlons d'Automatisation puisque la donnée peut remonter directement dans le système pour une utilisation à distance.

Du point de vue des caractéristiques du service (Tableau 4.5, colonne 1), le niveau d'intervention humaine requis est moins important notamment dans les phases initiales de collecte de donnée.

La gestion de la donnée par l'humain correspond aux activités de traitement et d'analyse des données collectées ainsi que le déclenchement de l'action finale.

Le type de données produites est digital et dynamique avec la possibilité de déclencher la remontée des données à distance.

La fréquence des mises à jour est simplifiée grâce à la remontée automatique des données. La périodicité de données plus à jour dépendra des besoins des gestionnaires.

L'accès à l'information se fera par un opt-out actif à l'utilisateur avec la signature d'un contrat entre gestionnaire et créateur de données.

Du point de vue l'utilisation des technologies de l'IoT (Tableau 4.5, colonne 2), la fonctionnalité principale utilisée est le transfert de données.

La gestion de la donnée par les technologies de l'IoT concerne la capture et le transfert à distance de celle-ci.

La portée de la technologie varie selon les architectures réseau adoptées par les gestionnaires. Selon les cas, elle peut être de courte portée avec une multitude de capteurs passant à travers un hub ou bien de longue portée directement vers les bases de données centrales.

La qualité de la donnée collectée demeure brute, mais l'augmentation de la fréquence de mise à jour permet la création d'historiques utiles à la prise de décision.

Tableau 4.5 Niveau 2 de la matrice de coévolution de la VI et l'IoT

Caractéristiques des processus/services dans la VI	Utilisation des technologies de l'IoT	Exemple de technologie facilitatrice du niveau
1. Niveau d'intervention humaine requis : limité	i. Fonctionnalité principale utilisée : transfert de données collectées	a) Capture de données : smartphone, application
2. Gestion de la donnée par l'humain : traitement et analyse	ii. Gestion de la donnée par la technologie : capture et transfert de la donnée	b) Communication des données : téléphonie mobile (3G, 4G), LoRa, Sigfox
3. Type de données : digitale, dynamique	iii. Portée de la technologie : courte/longue distance	c) Entreposage des données : localisé et centralisé (remonté des données)
4. Fréquence de mise à jour : mises à jour plus ponctuelles	iv. Qualité de la donnée : brute, mais plus nombreuses	d) Traitement des données-transactions : module des systèmes d'information
5. Accès à l'information: opt-out actif		e) Analyse des données : CRM, PLM
		f) Disponibilité des données : site internet, application mobile

Dans la pratique, les technologies IoT facilitatrices (Tableau 4.5, colonne 3), reprennent celle du niveau 1, mais demande des outils nouveaux permettant la communication à portée améliorée. La capture des données par les téléphones intelligents et les applications soutiennent ce niveau notamment avec l'utilisation des réseaux mobiles capables de transporter de la donnée sur de longues distances (3G, 4G).

De plus, les données peuvent être sauvegardées à la fois localement sur l'appareil émetteur, mais aussi centralisées après l'envoi à distance. Finalement, les outils de traitement ne sont pas spécifiques à l'IoT, mais s'insèrent dans les systèmes d'information classique de l'entreprise (par exemple ERP, CRM, PLM,...). Les données peuvent être accessibles sur des sites internet ou des applications mobiles.

#### 4.4.4 Niveau 3 : Dynamique

Ce niveau introduit la possibilité de temps réel dans l'exécution d'un service, c'est pour cela que nous parlons de Dynamique.

Du point de vue des caractéristiques du service (Tableau 4.6, colonne 1), le niveau d'intervention humaine requis est minimal dans la réalisation du service grâce à l'apport des technologies IoT.

La gestion de la donnée par l'humain peut s'exprimer dans des fonctions d'analyse complexe des données (data mining), mais n'est plus utile dans la majorité des cas (gestion par algorithme).

Le type de donnée est sous forme digitale et dynamique proche de la réalité.

La fréquence de mise à jour de la donnée est accélérée en temps quasi réel ou en temps réel.

L'accès de la donnée initiale est en opt-out actif ou passif selon les cas. Il est impossible de demander à chaque envoi l'approbation de l'émetteur.

Du point de vue de l'utilisation des technologies de l'IoT (Tableau 4.6, colonne 2), la fonctionnalité principale utilisée est le traitement et l'analyse avancés des données à travers des algorithmes et des modèles statistiques.

La gestion de la donnée par les technologies de l'IoT concerne la capture, le transfert, le traitement, l'analyse et le déclenchement d'une action finale dans les cas les plus basiques du service. Pour les cas complexes, l'analyse et le déclenchement final dépendront également de l'humain.

La portée de la technologie varie selon les architectures réseau par les gestionnaires. Selon les cas, elle peut être de courte jusqu'à longue portée voire à l'utilisation de plusieurs technologies de communications dans un même service.

La qualité de la donnée évolue dans son passage par les technologies de l'IoT par le parcours suivant : données brutes transformées en données raffinées qui se transforment en informations poussant à une action.

Tableau 4.6 Niveau 3 de la matrice de coévolution de la VI et l'IoT

Caractéristiques des processus/services dans la VI	Utilisation des technologies de l'IoT	Exemple de technologie facilitatrice du niveau
1. Niveau d'intervention humaine requis : minimal	i. Fonctionnalité principale utilisée : traitement et de l'analyse à travers des algorithmes	a) Capture de données : capteur communicant
2. Gestion de la donnée par l'humain : aucune ou action pour cas spéciaux (pannes, nouveauté, mise à jour...)	ii. Gestion de la donnée par la technologie : capture, transfert, traitement, analyse et déclenchement de l'action	b) Communication des données : longue distance faible énergie (LoraWan, Sigfox)
3. Type de données : digitale, dynamique et récente	iii. Portée de la technologie : courte à longue distance (multiples)	c) Entreposage des données : base de données virtuelles (Cloud), base de données NoSQL (MangoDB, Neo4J,...)
4. Fréquence de mise à jour : mise à jour fréquente, quasi-temps réel ou temps réel	iv. Qualité de la donnée : données brutes puis traitées et transformées en données qualifiées poussant à l'action	d) Traitement des données-transactions : requête NoSQL, progicielle (CRM, ERP, PLM, BI)
5. Accès à l'information: opt-out actif ou opt-out passif		e) Analyse des données : outils d'analyse big data (Hadoop), visualisation des données (tableau de contrôle spécifique, Tableau) f) Disponibilité des données : Cloud, application

Dans la pratique, les technologies IoT facilitatrices (Tableau 4.6, colonne 3) du niveau reprennent celle des niveaux précédents, avec un accent mis sur les technologies permettant le transfert de beaucoup d'informations. Par exemple, les réseaux à faible énergie d'utilisation sont pratiques pour collecter et transférer les données (LoraWan, Sigfox). Cela demande des capteurs compatibles avec ces

protocoles de communications. L'entreposage se fait sur des bases de données virtuelles dans le Cloud capables de manipuler de grandes quantités de données. Le traitement utilise les outils spécifiques à ses bases de données. L'analyse se concentre sur les données massives et des outils de visualisation de ses données permettant aux décisionnaires de trouver de nouvelles solutions. Les données sont accessibles grâce au Cloud.

#### 4.4.5 Niveau 4 : Optimisation

Ce dernier niveau introduit l'idée d'ubiquité et de temps réel capable de réaliser des actions préventives. Nous parlons d'Optimisation à cause de la capacité du système à prendre des décisions en fonction de l'historique des données collectées.

Du point de vue des caractéristiques du service (Tableau 4.7, colonne 1), l'intervention humaine n'est plus requise à la réalisation du service. Le système peut s'autoréguler lui-même. Cette autorégulation induit une autoconfiguration, un autoajustement et une auto optimisation. À partir de cela il est permis que le système puisse à priori prendre des décisions utiles à son fonctionnement.

La gestion de la donnée par l'humain n'est plus requise. L'humain agit uniquement en cas d'anomalie dans la réalisation du service.

Le type de données est digital, mais cette fois-ci dynamique et correspondant exactement à la réalité.

La fréquence de mise à jour est en temps réel et offre même la possibilité de prédictivité.

L'accès à l'information se fera en opt-out passif puisque l'utilisateur ne se rend plus compte de la collecte de donnée en utilisant le service.

Du point de vue de l'utilisation des technologies de l'IoT (Tableau 4.7, colonne 2), les fonctionnalités principales utilisées sont le traitement et l'analyse des données par des outils d'analyse prédictive.

La gestion de la donnée par les technologies IoT concerne tous les processus servant à la réalisation du service : de la capture jusqu'à l'action finale.

La portée de la technologie varie selon les architectures réseau par les gestionnaires. Selon les cas, elle peut être de courte jusqu'à longue portée voire à l'utilisation de plusieurs technologies de communications dans un même service.

La qualité de la donnée évolue dans son passage par les technologies de l'IoT par le parcours suivant : données brutes transformées en données raffinées qui se transforment en informations qui est comparé à un historique poussant à une action. Celle-ci est ultra-qualifiée et permet la réalisation d'actions préventives.

Tableau 4.7 Niveau 4 de la matrice de coévolution de la VI et l'IoT

Caractéristiques des processus/services dans la VI	Utilisation des technologies de l'IoT	Exemple de technologie facilitatrice du niveau
1. Niveau d'intervention humaine requis : absent (autoconfiguration, autoajustement, auto-optimisation) a priori sans intervention humaine	i. Fonctionnalité principale utilisée : utilisation d'outils d'analyse prédictive pour gérer les actions futures	a) Capture de données : caméra, capteur de présence, smartphone
2. Gestion de la donnée par l'humain : aucune	ii. Gestion de la donnée par la technologie : capture de la donnée, transfert, traitement, analyse et transfert d'action	b) Communication des données : cellulaire (3G, 4G), courte/longue distance (Sigfox, LoraWan)
3. Type de donnée : digitale, dynamique et exacte	iii. Portée de la technologie : courte à longue distance	c) Entreposage des données : serveur centralisé
4. Fréquence de mise à jour : mise à jour en temps réels et a priori (prédictivité)	iv. Qualité de la donnée : données brutes puis traitées et transformées en données qualifiées comparées à un historique poussant à l'action préventive	d) Traitement des données-transactions : outils de gestion de base de données Big Data
5. Accès à l'information: Opt out passif		e) Analyse des données : machine learning, intelligence artificielle, science des données f) Disponibilité des données : application

Dans la pratique, les technologies facilitatrices (Tableau 4.7, colonne 3), reprennent celle des niveaux précédents. L'emphase est mise sur l'utilisation d'outils d'analyse et de traitement des données avancées. L'utilisation du « machine learning » ou de l'intelligence artificielle permettent au système de s'autoréguler sans l'intervention humaine et de fournir de nouveaux services plus qualitatifs.

## CHAPITRE 5

### PRÉSENTATIONS DES TROIS PROJETS DANS LA VI

Ce chapitre consiste à étudier l'apport des technologies de l'IoT dans trois projets de ville intelligente : gestion des espaces de stationnement urbain, gestion des horaires de bus, relève de la consommation électrique d'un logement.

#### 5.1 Projet 1 : Gestion des espaces de stationnement urbain

La gestion des espaces de stationnement urbain est l'une des fonctions dévolues à la ville. Nous entendons par « gestion des espaces de stationnement urbain », le stationnement des véhicules dans les rues et non les espaces de stationnement dans des blocs de bâtiments qui sont la plupart du temps gérés par une entreprise privée.

Cet exemple est sélectionné afin de rendre compte de l'évolution du stationnement urbain dû à l'augmentation de la population en ville. L'ajout de l'IoT dans la gestion des espaces des stationnements permet d'avoir une meilleure connaissance de l'état d'occupation des emplacements ainsi que de gérer les paiements (pour l'automobiliste et la ville). Au final, un meilleur contrôle permettra d'améliorer la qualité du service offert aux citoyens.

### 5.1.1 Contexte de la gestion des espaces de stationnement urbain

La gestion des espaces de stationnement urbain représente un des enjeux des politiques de mobilité des municipalités. Dans le contexte d'une urbanisation grandissante, les échanges entre les métropoles et les banlieues sont en croissance que cela soit pour se rendre au travail, effectuer des achats ou bien pour des activités de loisirs.

Statistiques Canada estimait qu'en 2011 parmi les 15,4 millions de travailleurs se déplaçant pour se rendre au travail 11,4 millions (soit 74%) s'y rendent en conduisant un véhicule et 867 000 en tant que passagers. Cela conduit à une augmentation de la congestion urbaine entraînant des impacts économiques, environnementaux et sociaux.

Ce constat fait permet de mettre en lumière le besoin de mobilité par véhicule exprimé par une partie de la population. En bout de course, le point d'arrivée de ces trajets cristallise les attentions des automobilistes pour trouver un espace de stationnement et des pouvoirs publics pour améliorer l'attractivité de la ville.

La gestion des espaces de stationnement contribue à une recherche d'efficience des ressources. Litman (2007), membre du Victoria Transport Policy Institute, décrit une liste de douze avantages à la gestion des espaces de stationnement (Tableau 5.1).

Tableau 5.1 Bénéfice de la gestion des espaces de stationnement (Litman 2007)

Avantages	Caractéristiques
Réduit les coûts d'installation	Réduire les coûts pour les parties prenantes
Améliore la qualité de service	Améliorer la qualité de service en fournissant de meilleures informations, plus d'options aux utilisateurs, réduire la congestion et créer des installations attrayantes
Design et installation plus flexible	Donner aux architectes, aux concepteurs et aux planificateurs plus de façons de répondre aux exigences de stationnement
Génère des revenus	Générer des revenus pouvant financer des installations de stationnement, des améliorations de transport ou d'autres projets importants
Réduit la consommation d'espace	Réduire les besoins d'espace et contribuer ainsi à préserver espaces verts et autres ressources écologiques, historiques et culturelles précieuses
Soutient la gestion de la mobilité	Participer aux efforts encourageant des modes de transport plus efficaces réduisant les problèmes routiers (i.e. congestion, coûts routiers, émissions polluantes, consommation d'énergie, accidents de la route)
Soutient la croissance intelligente	Aider à créer des modèles d'utilisation du sol plus efficaces et à appuyer d'autres objectifs d'aménagement
Amélioration de la praticabilité	Contribuer à créer des espaces favorables aux piétons en permettant le développement de bâtiments situés plus près des trottoirs et des rues
Soutient le transport	Prendre en charge le développement axé sur le transport multimodal
Réduit les coûts de gestion des eaux pluviales, de la pollution de l'eau et des effets d'îlots thermique	Possibilité de réduire le débit des eaux pluviales, la pollution de l'eau et le gain de chaleur solaire
Soutient les objectifs d'équité	Possibilité de réduire le besoin de subventions au stationnement et améliorer les options de voyage pour les non-conducteurs
Des communautés plus vivables	Possibilité de créer des environnements urbains plus attrayants

Par conséquent, les projets soutenus par l'introduction de l'IoT va influencer les stratégies de gestion des stationnements urbains.

Mais les situations sont spécifiques à des territoires donnés par exemple la taille des villes et des métropoles, la localisation des lieux d'activité ou bien la présence d'une offre de transport en commun adéquat. Par exemple, pour la région métropolitaine de Québec 80,5% des déplacements des travailleurs sont réalisés en véhicule contre 70% pour les villes de Toronto et Montréal (Source Statistique Canada).

L'évolution du service va varier d'un quartier, d'une ville, d'une région à un autre. C'est cette évolution que nous allons étudier dans la section suivante.

### 5.1.2 Évolution de la gestion des espaces de stationnement urbain

#### i. Niveau 0 : Primitif

Des parcmètres mécaniques sont installés pour chaque espace de stationnement. Ces appareils permettent le paiement et indiquent la fin du stationnement pour la place concernée.

Du point de vue des caractéristiques du service (Tableau 5.2, colonne 1), le niveau d'intervention pour l'automobiliste est total. Il doit payer directement sur le parcmètre et retenir la durée de stationnement indiquée sur celui-ci. De même, la vérification par les agents de contrôle devra se faire visuellement directement sur le parcmètre.

Il n'y a pas de gestion de la donnée par l'humain dans ce niveau puisque c'est un minuteur qui décompte le temps de stationnement autorisé sans que quelqu'un puisse y avoir accès (automobiliste ou agent).

Le type de données produites est physique et statique, car celle-ci ne peut être mise à jour.

La fréquence de mise à jour dépend uniquement du paiement par l'automobiliste.

L'accès à l'information est uniquement possible en direct par l'observation visuelle du parcmètre (automobiliste et agent).

Il n'y a aucune technologie de l'IoT dans ce niveau (Tableau 5.2, colonne 2), toute l'installation est mécanique.

Tableau 5.2 Niveau 0 Gestion des espaces de stationnements urbains

Caractéristiques des processus/services dans la VI	Utilisation des technologies de l'IoT	Exemple de technologie facilitatrice du niveau
1. Niveau d'intervention humaine requis : totalement dépendante de l'automobiliste	i. Fonctionnalité principale utilisée : aucune	a) Capture de données : aucune
2. Gestion de la donnée par l'humain : aucune (paiement sur parcmètre)	ii. Gestion de la donnée par la technologie : aucune	b) Communication des données : aucune
3. Type de données : physique et statique (sur compteur du parcmètre)	iii. Portée de la technologie : aucune	c) Entreposage des données : aucun
4. Fréquence de mise à jour : mise à jour impossible (décompte mécanique)	iv. Qualité de la donnée : aucune	d) Traitement des données-transactions : aucun
5. Accès à l'information: en direct visuellement sur le parcmètre		e) Analyse des données : aucune
		f) Disponibilité des données : aucune

Dans la pratique, les technologies de l'IoT ne sont pas utilisées. Nous retrouvons l'installation de parcmètre mécanique pour une ou deux places de stationnement afin de décompter le temps de stationnement payé par l'automobiliste comme c'est les cas pour les villes de Chicago et Biberach (Figure 5.1).



Figure 5.1 Parcmètres simples (Chicago, États-Unis) et doubles (Biberach, Allemagne)

Ce système demande la multiplication de parcmètres et cela représente un coût non négligeable pour les municipalités (voir la photo de la figure 5.1 dans le cas d'un stationnement de rue à Chicago). De plus, le fait de n'avoir que l'information du délai uniquement disponible sur l'appareil en direct représente un facteur d'insatisfaction de la part des utilisateurs (Rhodes, 2009).

Cela conduit les villes à revoir leur politique de stationnement et à remplacer ces systèmes par des systèmes plus technologiques. Cela est le cas pour la ville de Montpelier (Vermont, États-Unis) qui en 2014 lançait le test de parcmètres digitaux pour remplacer ses parcmètres à pièces (Noyes, 2014) conduisant à un passage au niveau suivant de notre matrice.

#### ii. Niveau 1 : Digitalisation

Le niveau 1, Digitalisation, correspond à l'introduction de l'horodateur (Figure 5.2) dans la gestion du stationnement urbain. Contrairement au parcmètre, ce n'est plus un décompte mécanique mais un horaire de fin de validité qui va être produit. Cela est rendu possible par la digitalisation de cette donnée.



Figure 5.2 Modèle MP 8008 1984 de Cale Access (source : Caleaccess.com)

Du point de vue des caractéristiques du service (Tableau 5.3, colonne 1), le niveau d'intervention humaine est important : l'automobiliste se rend à un horodateur qui est alimenté électriquement pour payer son espace de stationnement. L'horodateur fournit la preuve de paiement à travers un ticket de stationnement (Figure 5.3).

Ce ticket doit être placé sur le tableau de bord du véhicule pour vérification par les agents de contrôle.

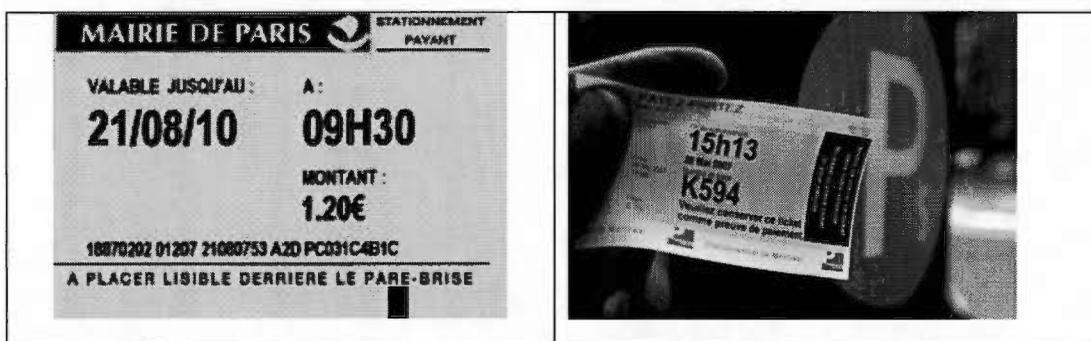


Figure 5.3 Exemple de ticket de stationnement produit (Paris et Montréal)

La gestion de la donnée dépend de l'humain pour sa création (paiement sur horodateur) et son transfert (sur le tableau de bord du véhicule). Le traitement et l'analyse (vérification de la validité) sont effectués visuellement par les agents de contrôle.

Le type de données produites est statique et à la fois physique avec l'impression d'un ticket de stationnement et digitale avec l'enregistrement dans la mémoire de l'horodateur du paiement. Il n'y a pas de mise à jour de la donnée possible pour les données papier mais pour les données sauvegardées sur l'horodateur, une extraction est possible par un technicien. L'accès à l'information se fait en direct sur papier et en direct en extrayant les données de l'horodateur.

Du point de vue de l'utilisation des technologies de l'IoT (Tableau 5.3, colonne 2), la fonctionnalité principale utilisée est la possibilité d'un enregistrement digital du paiement et par conséquent une possibilité de suivi de l'utilisation d'un appareil. Cette information reste stockée dans l'appareil.

La gestion de la donnée par les technologies concerne exclusivement la capture du paiement sur l'horodateur.

La portée de la technologie est limitée, car pour récupérer les données de l'horodateur le technicien doit se rendre sur chaque appareil.

La qualité de la donnée est brute et très sommaire avec uniquement l'enregistrement d'un paiement avec fin de validité.

Tableau 5.3 Niveau 1 Gestion des espaces de stationnements urbains

Caractéristiques des processus/services dans la VI	Utilisation des technologies de l'IoT	Exemple de technologie facilitatrice du niveau
1. Niveau d'intervention humaine requis : fortement dépendante de l'automobiliste	i. Fonctionnalité principale utilisée : capture de la preuve de paiement	a) Capture de données : Horodateur numérique
2. Gestion de la donnée par l'humain : paiement sur horodateur, dépôt ticket dans véhicule	ii. Gestion de la donnée par la technologie : capture et stockage local	b) Communication des données : aucune
3. Type de données : double : physique et statique (ticket), digitale et statique (horodateur)	iii. Portée de la technologie : limité (contact direct avec horodateur)	c) Entreposage des données : disque dur interne de l'horodateur
4. Fréquence de mise à jour : mis à jour impossible (papier)	iv. Qualité de la donnée : brute (paiement avec fin de validité)	d) Traitement des données-transactions : aucun
5. Accès à l'information: en direct (papier ou horodateur)		e) Analyse des données : aucun
		f) Disponibilité des données : aucun

Dans la pratique, les technologies facilitatrices de l'IoT (Tableau 5.3, colonne 3) concernent avant tout les outils de capture que sont les horodateurs. Par exemple dès 1984, nous retrouvons des machines de type « pay and display » de Cale (Caleaccess) capable d'assurer le paiement pour de large zone de stationnement ainsi que d'avoir des statistiques journalières sur l'utilisation de l'appareil.

La production d'une donnée digitale est un atout majeur dans la gestion des espaces de stationnement urbain. Néanmoins, le fait de devoir aller récupérer physiquement les données numériques présentes dans l'appareil ne permet qu'une utilisation simple et rapide des informations produites.

### iii. Niveau 2 : Automatisation

Le niveau 2, Automatisation, correspond à l'introduction d'une remontée automatique des données de paiement récoltées par des bornes de paiement.

Du point de vue des caractéristiques du service (Tableau 5.4, colonne 1), le niveau d'intervention requis par l'automobiliste demeure important. Deux options se présentent :

- Première option : l'utilisateur se rend près d'une borne et effectue un paiement correspondant à son numéro de place de parking. La borne enregistre ce paiement et imprime un reçu papier avec la durée limite. L'utilisateur n'a pas besoin d'indiquer ce ticket sur son véhicule.
- Deuxième option : l'utilisateur utilise une application développée par l'organisme responsable des stationnements pour le paiement. Pour cela, il va devoir créer un profil d'utilisateur en fournissant des renseignements nominatifs (nom, prénom, plaque d'immatriculation, moyen de paiements...). Lors de la réalisation du service, l'utilisateur se connecte sur l'application, inscrit le numéro de sa place et la durée de stationnement voulue. Un reçu électronique est produit pour l'utilisateur.

Dans les deux cas, la gestion de la donnée ne dépend de l'humain que lors de sa création dans le système (c'est-à-dire au moment du paiement). Ensuite, les agents de contrôle interrogent le système pour vérifier le paiement lors des contrôles.

Le type de données produites est numérique et dynamique avec un enregistrement dans le système de la transaction.

La fréquence de mise à jour est du quasi-temps réel avec une mise à jour effective à chaque nouveau paiement.

L'accès à l'information se fait en opt-out actif lorsqu'il s'agit d'un paiement sur l'application mobile sous-entendue que l'application demande l'autorisation à l'automobiliste lors de son inscription et en opt-out passif lors du paiement sur borne

sous-entendue que l'automobiliste n'est pas explicitement au courant de la création de la donnée.

Du point de vue de l'utilisation des technologies de l'IoT (Tableau 5.4, colonne 2), la fonctionnalité la plus importante est le transfert dans une base de données centrale de tous les paiements de stationnement.

La gestion de la donnée par les technologies de l'IoT concerne la capture et le transfert du paiement dans une base de données ainsi que les outils de visualisation pour les agents de contrôle.

La portée de la technologie doit être longue afin de transférer les données de la borne vers la base de données centrale à travers une communication machine to machine.

La qualité de la donnée collectée varie selon les options de paiements choisies :

- Première option : la donnée est brute et ne concerne que le paiement de la place de stationnement. L'unique information dont on dispose est de savoir si quelqu'un à payer.
- Deuxième option : la donnée est plus qualitative puisque grâce à l'enregistrement de l'utilisateur, l'application connaît des informations sur le payeur en plus de celle de la place de stationnement.

Tableau 5.4 Niveau 2 Gestion des espaces de stationnements urbains

Caractéristiques des processus/services dans la VI	Utilisation des technologies de l'IoT	Exemple de technologie facilitatrice du niveau
1. Niveau d'intervention humaine requis : option 1 : automobiliste paye à une borne, option 2 : automobiliste paye avec une application 1. Gestion de la donnée par l'humain : paiement sur horodateur ou application 2. Type de données : numérique et dynamique (cloud) 3. Fréquence de mise à jour : quasi-temps réel 4. Accès à l'information: option 1 : opt-out actif pour application mobile ; option 2: opt-out passif pour la borne de paiement	i. Fonctionnalité principale utilisée : transfert de la donnée de paiement (à partir de l'application ou borne) ii. Gestion de la donnée par la technologie : capture, transfert, traitement dans une base de données iii. Portée de la technologie : longue iv. Qualité de la donnée : Option 1 : brute et peu qualifié Option 2 : nominative associée au profil utilisateur	a) Capture de données : bornes communicantes, smartphone, application b) Communication des données : internet mobile (3G, 4G) c) Entreposage des données : localisé (par borne), centralisé (remonté des données borne et appli) d) Traitement des données-transactions : système d'information propriétaire e) Analyse des données : système d'information propriétaire f) Disponibilité des données : site internet, application et terminaux mobiles

Dans la pratique, les technologies IoT facilitatrices (Tableau 5.4, colonne 3) concernent surtout les bornes de paiement qui sont équipés puces téléphoniques pour transmettre les données.

Par exemple le modèle Strada Évolution<sup>5</sup> de Parkeon est équipé d'un modem 3G qui transfère les transactions vers le système d'information propriétaires de Parkeon MyParkfolio<sup>6</sup> (Figure 5.4).

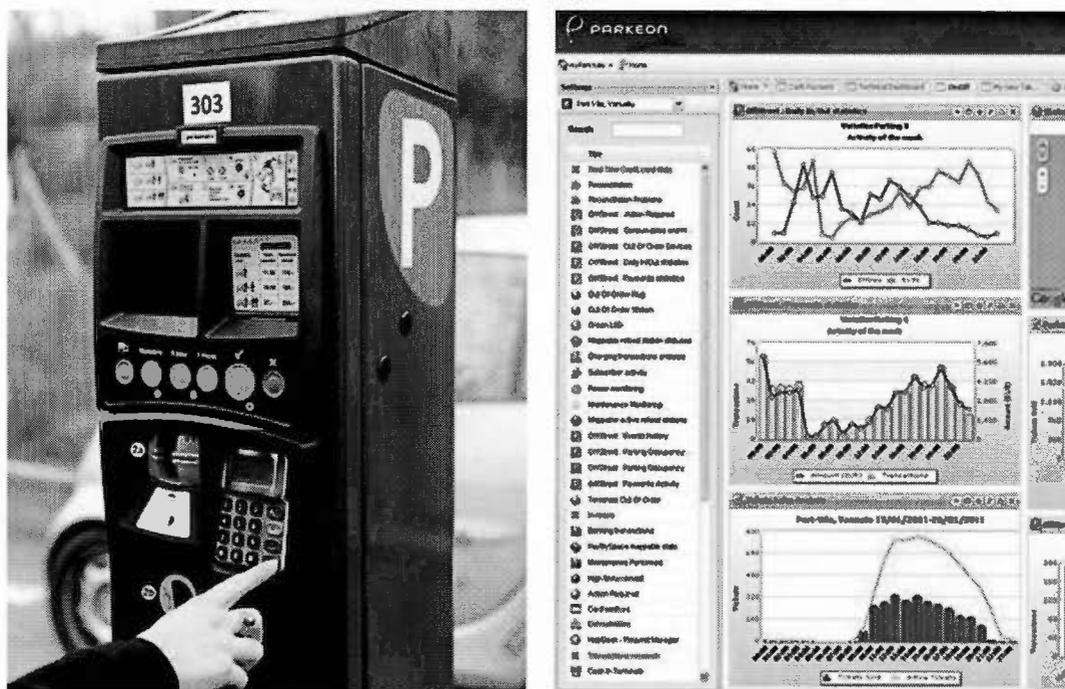


Figure 5.4 Borne Strada Évolution (Paris, France) et l'application MyParkfolio

Cette solution est utilisée à Paris depuis plus de 15 ans pour gérer le stationnement urbain de la capitale.

<sup>5</sup>Parkeon. (date n.c). *Strada Evolution*. Récupéré de : <http://www.parkeon.fr/nos-solutions/catalogue-produits-et-services/strada-evolution/>

<sup>6</sup>Parkeon. (date n.c). *My Parkfolio*. Récupéré de : <http://www.parkeon.fr/nos-solutions/catalogue-produits-et-services/myparkfolio-application-de-gestion/>

Toujours dans le niveau Automatisation, il existe également des solutions plus évoluées technologiquement qui permettent la détection d'un véhicule sur un espace de stationnement. La technologie magnétorésistive permet la détection d'objet de taille importante ferromagnétique que sont les véhicules sans permettre l'identification spécifique du propriétaire<sup>7</sup>. Par exemple, la solution Banners Engineering est équipée de détecteur M-Cage sur chaque espace de stationnement (Figure 5.5). Le détecteur M-Cage utilise la technologie magnétorésistive sur 3 axes pour détecter les véhicules.

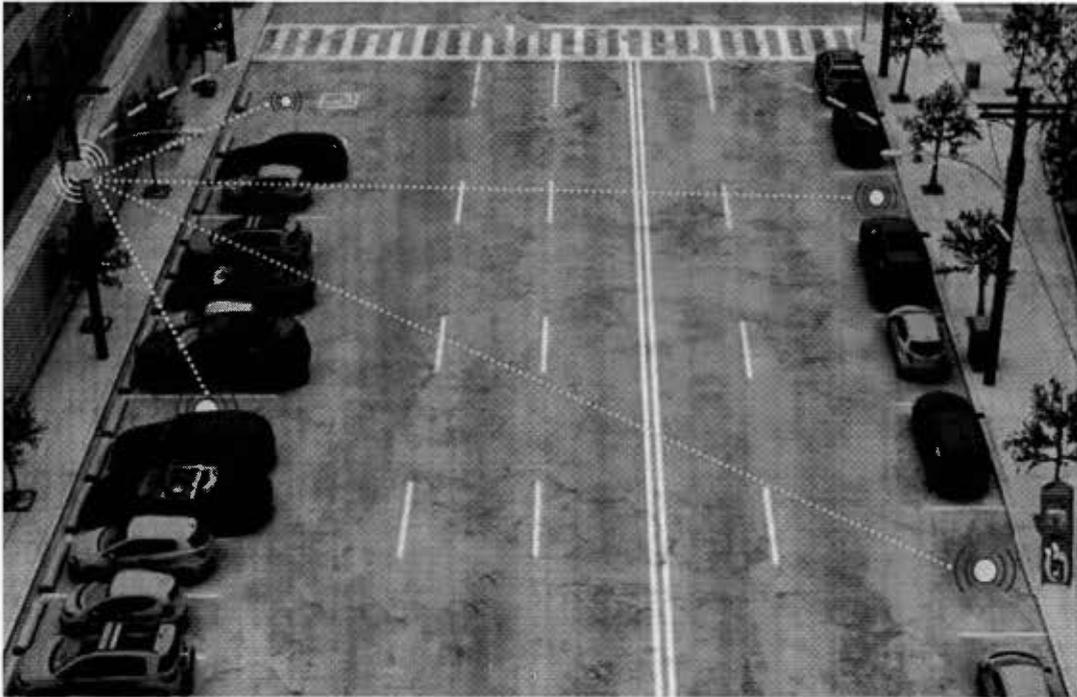


Figure 5.5 Schéma d'une installation pour le stationnement en voirie (Banner)

---

<sup>7</sup>Banner Engineering. (date n.c.). *Solution sans fil pour le stationnement intelligent*. Récupéré de : <http://info.bannerengineering.com/cs/groups/public/documents/literature/fr-f190.pdf>

La topologie de la solution implique l'utilisation des récepteurs (par radiofréquence) qui servent de ponts entre les capteurs et le contrôleur qui va communiquer (par Ethernet ou GSM) avec la plateforme centrale (Figure 5.6).

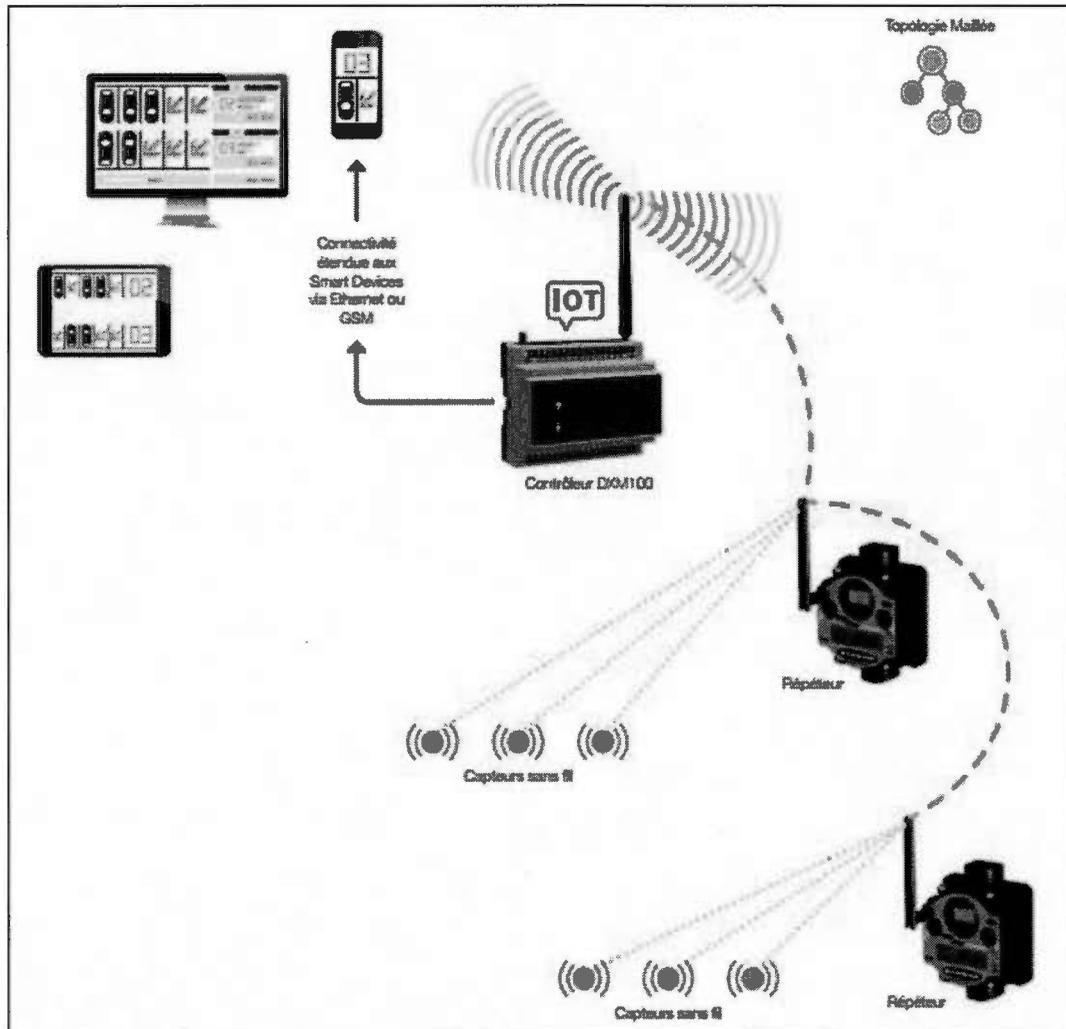


Figure 5.6 Architecture réseau avec modules MultiHop Data Radio (Banners)

Les deux exemples précédents offrent la remontée de donnée de présence d'un véhicule. Des applications peuvent aussi se retrouver sur des terminaux mobiles afin de suivre le paiement d'un espace de stationnement. Ces terminaux sont utilisés par les agents de contrôle lors d'inspections. Par exemple, le modèle X7 SmartPad<sup>8</sup> produit par Schweers dispose du WiFi, du Bluetooth et d'un modem 4LTE afin de communiquer avec le système d'information. Ce modèle permet même l'impression d'un procès-verbal en direct. Il existe également des modèles encore plus portatifs tels que le RG 730<sup>9</sup> au format smartphone (Figure 5.7).



Figure 5.7 Modèle RugGear 730 (gauche) et X7 SmartPad (droite) de Schweers

<sup>8</sup> Schweers. (date n.c). *X7 Handeld*. Récupéré de : <http://www.schweers.com/us/index.php/us/products/hardware/x7-handheld>

<sup>9</sup> Schweers. (date n.c). *Ruggear 730*. Récupéré de <http://www.schweers.com/us/index.php/us/products/hardware/ruggear-730>

Le temps réel du paiement permet également la reconnaissance par plaque d'immatriculation. La ville de Aspen aux États-Unis utilise le système AutoVu développé par Genetec<sup>10</sup>. Le système AutoVu est unifié avec la plateforme Security Center de Genetec pour fournir en temps réel un statut sur les véhicules détectés par les caméras (Figure 5.8).

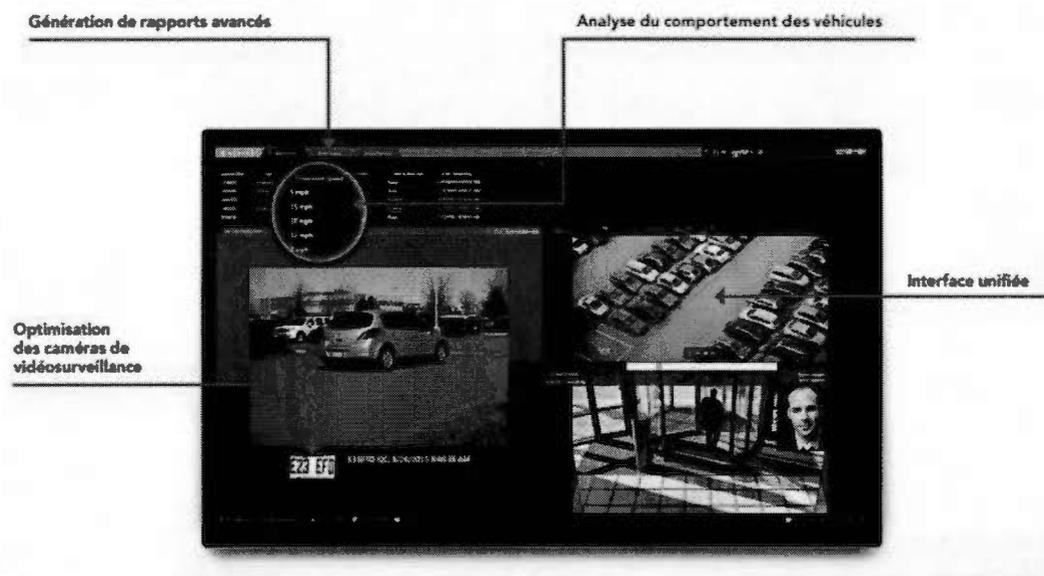


Figure 5.8 Interface utilisateur de la solution AutoVu par Genetec (p.2)<sup>11</sup>

Nous voyons ainsi que les options de communication (par exemple modèle de Schweers Technology équipé de 3G, 4G LTE, HSPA/GSM/GPRS/EDGE/WiFi) aident principalement à la détection de l'infraction, mais demandent toujours une implication humaine de la part de l'automobiliste au départ.

<sup>10</sup>Genetec. (date n.c.). *Gestion du stationnement*. Récupéré de : <https://www.genetec.com/fr/solutions-/industries/gestion-du-stationnement>

<sup>11</sup>Genetec. (date n.c.). *AutoVu Reconnaissance par plaque d'immatriculation sur IP*. Récupéré de : <https://www.genetec.com/Documents/FR/Products/FR-Genetec-AutoVu-Reconnaissance-de-plaques-dimmatriculation-sur-IP.pdf>

#### iv. Niveau 3 : Dynamique

Le niveau 3, Dynamique, introduit la reconnaissance automatique d'un véhicule stationné sur un espace. Cela correspond à la connaissance en temps réel de la présence d'un véhicule sur un espace de stationnement sans action de la part de l'utilisateur. À cette reconnaissance s'ajoute la création d'un profil utilisateur pour le paiement par application.

Du point de vue des caractéristiques du service (Tableau 5.5, colonne 1), il n'y plus d'intervention humaine dans la réalisation du service.

La gestion de la donnée n'est plus assurée par l'humain. L'action humaine est nécessaire à l'enregistrement de son profil automobile, à savoir des renseignements sur son identité et sur son véhicule pour l'identification ainsi que ses informations bancaires pour le paiement.

Le type de données produites est numérique et dynamique avec une actualisation en direct de la présence ou non de véhicule sur l'espace de stationnement.

L'accès à l'information est en opt-out actif sous-entendu que l'application demande l'autorisation à l'automobiliste lors de son inscription pour détecter le véhicule et enclencher le paiement.

Du point de vue de l'utilisation des technologies de l'IoT (Tableau 5.5, colonne 2), la fonctionnalité principale est la capture de la présence d'un véhicule ainsi que le traitement de la transaction de paiement à partir de cette identification.

La gestion de la donnée par les technologies de l'IoT concerne toutes les étapes du service : la capture identifiant le véhicule sur l'espace de stationnement, le transfert de cette donnée vers une base de données centralisée qui va être traitée afin d'aboutir à une action donnant lieu à une transaction (paiement de la place).

La portée de la technologie va varier selon les solutions choisies. Elle peut être de courte à moyenne longueur pour détecter le véhicule précisément sur l'espace de stationnement et longue pour transfert cette donnée vers les serveurs principaux.

La qualité de donnée correspond à une donnée brute initiale identifiant un véhicule sur l'espace de stationnement, cette donnée est traitée pour déterminer le profil d'utilisateur de ce véhicule afin de lui associer un paiement et une durée de stationnement.

Tableau 5.5 Niveau 3 Gestion des espaces de stationnements urbains

Caractéristiques des processus/services dans la VI	Utilisation des technologies de l'IoT	Exemple de technologie facilitatrice du niveau
1. Niveau d'intervention humaine requis : création d'un profil utilisateur, reste ne dépend plus de l'humain	i. Fonctionnalité principale utilisée : capture de la présence et identification	a) Capture de données : bornes communicantes, smartphone, apps, caméra, capteur de présence
2. Gestion de la donnée par l'humain : aucune	ii. Gestion de la donnée par la technologie : capture, transfert, traitement, analyse et déclenchement du paiement	b) Communication des données : longue distance faible énergie (LoraWan, Sigfox), réseaux mobiles (GSM, 3G)
3. Type de données : numérique et dynamique (cloud)	iii. Portée de la technologie : courte/moyenne pour détection du véhicule et longue pour transfert de la capture	c) Entreposage des données : serveur centralisé cloud
4. Fréquence de mise à jour : en temps réel	iv. Qualité de la donnée : d'une identification brute à une transaction personnalisée	d) Traitement des données-transactions : système d'information propriétaire
5. Accès à l'information: opt-out actif ou opt-out passif (repérage du véhicule)		e) Analyse des données : système d'information f) Disponibilité des données : internet fixe et mobile, application

Dans la pratique, les technologies IoT facilitatrices (Tableau 5.5, colonne 3) sont nombreuses et il faut un écosystème complet capable d'interaction pour : capturer la présence, la transférer vers une plateforme centrale, la traiter et l'analyser et déclencher une action (le paiement ou la contravention).

Par exemple, la société ParkNow (Allemagne) s'est associée avec BMW pour automatiser le paiement de stationnement de tous les véhicules équipés du ConnectedDrive. Cette solution exploite la géolocalisation offerte par le ConnectedDrive afin de détecter les zones de paiements. En détectant les zones, ParkNow déclenche automatiquement le paiement lorsque le véhicule se stationne et l'arrête à son départ. Les informations sur le paiement sont par la suite envoyées sur le tableau de bord du véhicule (le propriétaire aura fourni une option de paiement lors de la création de son compte ConnectedDrive) (Figure 5.9).



Figure 5.9 Tableau de bord ConnectedDrive avec application ParkNow

Ce niveau d'évolution facilite la réalisation globale du service en supprimant l'intervention humaine dans le paiement de l'espace de stationnement. Néanmoins, les données produites en temps réel ne sont pas exploitées afin d'offrir de nouveaux services.

#### v. Niveau 4 : Optimisation

Le niveau 4, Optimisation, correspond à l'utilisation des données de stationnement passées et celles en temps réel afin d'établir des modèles prédictifs de disponibilité et de les offrir aux utilisateurs. C'est une amélioration du niveau dynamique dans le sens où le système exploite au maximum les données collectées.

Du point de vue des caractéristiques du service (Tableau 5.6, colonne 1), l'action humaine n'est plus nécessaire pour gérer les espaces de stationnement, le traitement des données et leur analyse par le système induit l'utilisation optimale.

La gestion de la donnée n'est plus dépendante de l'humain (automobiliste, technicien, agent)

Le type de données produites par le service est digital et dynamique.

La fréquence de mise à jour est très importante c'est-à-dire en temps réel avec la possibilité de prédire les futurs espaces de stationnements libres.

L'accès à l'information provient de toutes les solutions mises en place pour le paiement d'un espace de stationnement (en direct pour les bornes, opt-out actif pour les applications).

Du point de vue de l'utilisation des technologies de l'IoT (Tableau 5.6, colonne 2), la principale fonctionnalité utilisée est l'analyse avancée des données afin de fournir des informations prédictives pour les automobilistes et les agents.

La gestion de la donnée par les technologies de l'IoT concerne toutes les étapes du service : de la capture à la restitution d'une information prédictive.

La portée de la technologie va varier selon les solutions choisies. Elle peut être de courte à moyenne longueur pour détecter le véhicule précisément sur l'espace de stationnement et longue pour transférer cette donnée vers les serveurs principaux. En outre, un retour sur un terminal mobile (smartphone ou panneau d'affichage urbain) nécessite l'utilisation d'une technologie longue portée.

La qualité de la donnée commence par une donnée brute de paiement d'un espace de stationnement qui est raffinée avec l'analyse des habitudes de stationnement selon les événements (jours, horaire, festivité,...) pour établir des patterns de probabilité d'espace libre. La donnée est au final très qualifiée et spécifiée pour un utilisateur.

Tableau 5.6 Niveau 4 Gestion des espaces de stationnements urbains

Caractéristiques des processus/services dans la VI	Utilisation des technologies de l'IoT	Exemple de technologie facilitatrice du niveau
1. Niveau d'intervention humaine requis : création d'un profil 2. Gestion de la donnée par l'humain : aucune 3. Type de données : numérique, dynamique, prédictive (cloud) 4. Fréquence de mise à jour : en temps réel 5. Accès à l'information: opt-out passif (repérage des véhicule)	i. Fonctionnalité principale utilisée : analyse avancée des données en temps réel et de l'historique ii. Gestion de la donnée par la technologie : capture, transfert, traitement, analyse et action iii. Portée de la technologie : courte/moyenne pour détection et longue pour le transfert iv. Qualité de la donnée : d'une donnée brute à donnée qualifiée et prédictive	a) Capture de données : caméra, capteur de présence, smartphone b) Communication des données : cellulaire (3G, 4G), longue distance (Sigfox, LoraWan) c) Entreposage des données : serveur centralisé cloud d) Traitement des données-transactions : système d'information propriétaire e) Analyse des données : algorithme, intelligence artificielle, f) Disponibilité des données : internet mobile, smartphone

Dans la pratique, les technologies IoT facilitatrices (Tableau 5.6, colonne 3) consiste à exploiter les données de paiement récoltées pour les analyser.

La transmission de la donnée est effectuée sur un GPS afin de situer géographiquement l'automobile et orientée vers des espaces de stationnements libres. La capture de la donnée est réalisée de la même manière que le niveau précédent puisque la connaissance en temps réel est encore plus importante.

La société Parkeon, spécialiste du stationnement, avec un parc d'horodateur et de moyen de paiement déjà disponible, a lancé une solution Path to Park afin d'aider les utilisateurs à trouver des espaces de stationnement le plus rapidement possible.

La solution prend la forme d'une application mobile avec des données envoyées par de l'internet mobile. L'entreprise analyse l'historique des stationnements ainsi que la visualisation en temps réel des disponibilités pour l'orientation des véhicules. La prédictivité liée à l'analyse de ces données par des algorithmes optimise la gestion des espaces de stationnement. L'utilisateur retrouve au final des probabilités de disponibilité de place ainsi qu'un trajet (Figure 5.10).

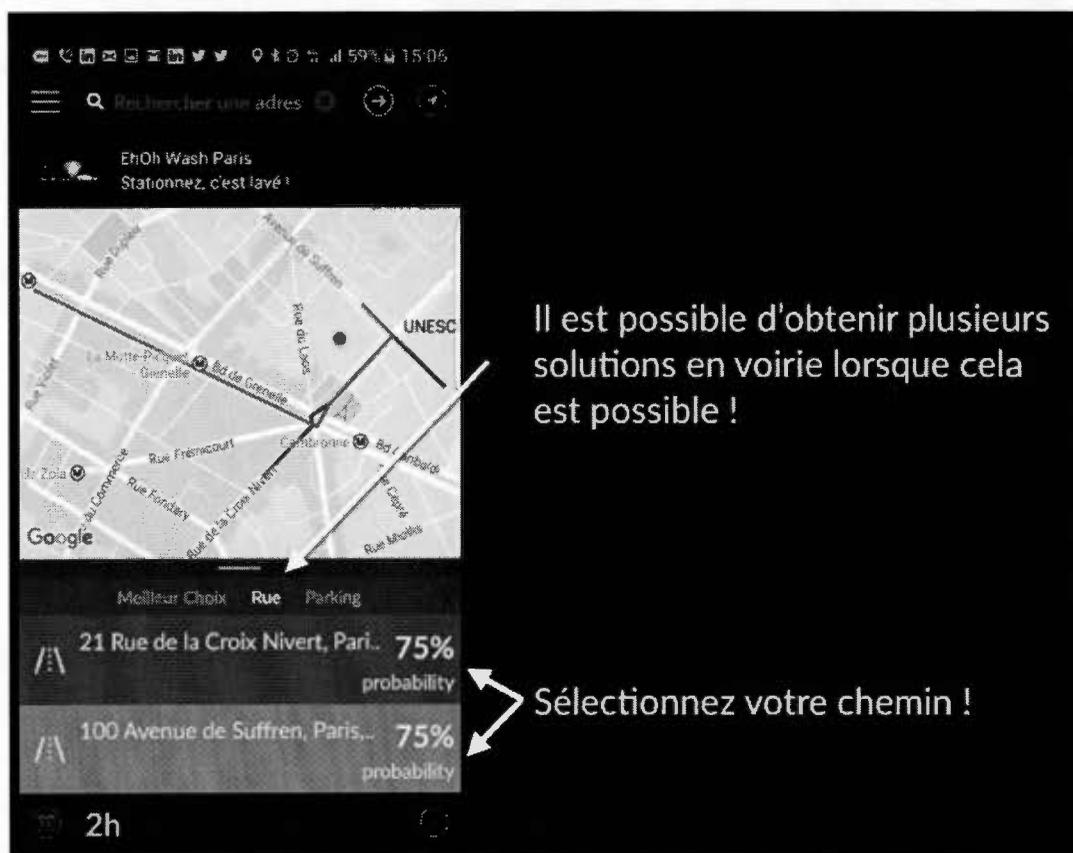


Figure 5.10 Capture de l'application Path to Park (Parkeon)

De plus pour s'assurer de la disponibilité à son arrivée sur les lieux, un service de réservation est également disponible dans la solution à la société Néoparking.

Ce niveau d'optimisation fait intervenir plusieurs acteurs afin de rendre l'expérience la plus simple pour l'utilisateur.

### 5.1.3 Bilan de l'évolution de la gestion des espaces de stationnement urbain

L'évolution du service de gestion des espaces de stationnement urbain dépend de la situation et des besoins de la municipalité en question. Le passage d'un niveau primitif utilisant principalement des parcmètres mécaniques à un niveau optimisé et ubiquitaire du véhicule requiert des investissements et une réflexion de la part des gestionnaires et des utilisateurs.

À l'avenir, l'exemple de BMW et ParkNow ouvre de nouvelles possibilités dans la gestion automatisée des espaces de stationnement. La recherche actuelle sur les véhicules autonomes, c'est-à-dire de véhicule capable de se mouvoir sans action de la part d'un conducteur, nous permet d'envisager une optimisation accrue des déplacements et des espaces de stationnement. Aujourd'hui (2017), cette question reste à débattre, car sur le marché actuel sont uniquement présents des véhicules semi-autonomes tels que les Tesla modèle S ou bien BMW 740i. Mais nous nous en allons vers un véhicule plus autonome.

## 5.2 Projet 2 : Gestion des horaires de bus

Nous entendons par gestion des horaires de bus, le processus de création d'un horaire et de la manière dont il sera restitué à l'utilisateur.

La gestion des horaires est importante pour la régie des transports et pour les usagers. Avec la promotion environnementale et économique de l'utilisation des transports en commun, les villes se doivent de développer au mieux leurs outils. Nous allons voir comment notre matrice de coévolution va permettre de traduire l'introduction des technologies de l'IoT dans la gestion des horaires.

### 5.2.1 Contexte de la gestion des horaires de bus

Le projet précédent de la gestion des espaces de stationnement urbain résulte de la volonté d'améliorer la mobilité urbaine. Si aujourd'hui le véhicule demeure le moyen de locomotion le plus utilisé, l'offre en transport en commun est l'autre facette des solutions de mobilité. Par exemple, les déplacements des travailleurs en transport en commun à Montréal et Toronto atteignent 22% et 23% respectivement contre 11% pour la ville de Québec (Statistique Canada<sup>12</sup>). La tendance actuelle dans la gestion du mix de mobilité est une réduction du nombre des voitures avec la présence de péages urbains (Londres, Stockholm), piétonnisation de rues (Paris), taxation et licences de circulation (Singapour). Ces politiques induisent, en parallèle, le développement d'offres de déplacement alternatives.

L'offre de transport en commun intra et interurbain implique la gestion de nombreux outils de transport (bus, train, métro, trolleybus, tram,...) qui va jouer sur le parcours d'un utilisateur.

---

<sup>12</sup> Statistiques Canada. (2015). *Proportion des travailleurs utilisant l'automobile, le camion ou la fourgonnette, le transport en commun, marchant ou utilisant la bicyclette pour se rendre au travail, régions métropolitaines de recensement, 2011*. Récupéré de : <http://www12.statcan.gc.ca/nhs-enm/2011/as-sa/99-012-x/2011003/tbl/tbl1a-fra.cfm>

Dans ces outils de transport, le bus est la solution la plus utilisée notamment des zones où le métro et le train léger ne sont pas présents (Figure 5.11).

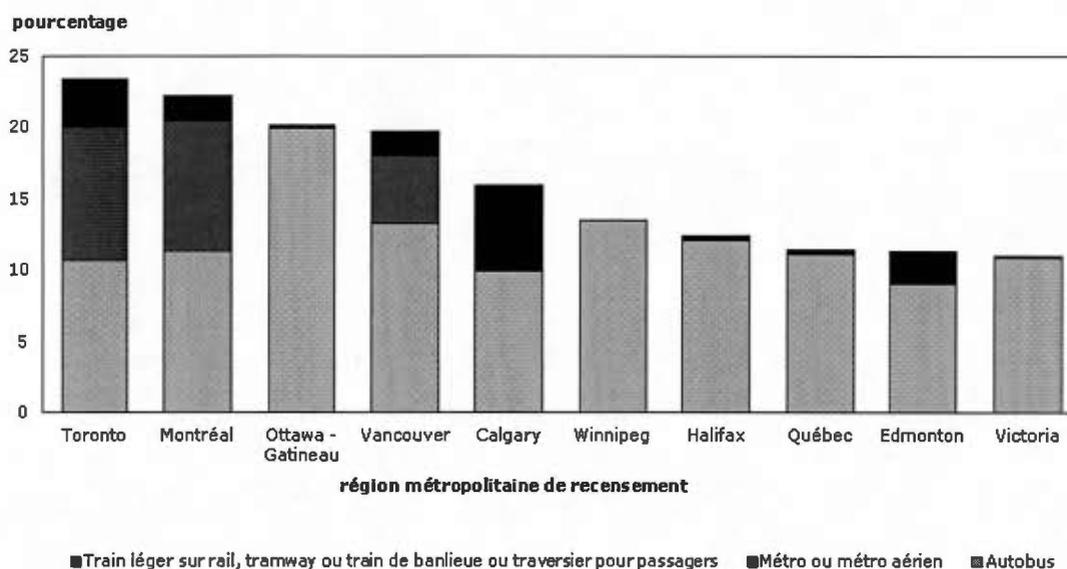


Figure 5.11 Répartition par moyen de transport des trajets (Statistique Canada)

La Figure 5.11 appuie l'argument d'un transport multimodal dans les grandes métropoles et le besoin de connaître la situation des bus dans le milieu urbain. Ponctualité et cadencement c'est-à-dire le respect des horaires et la fréquence des passages sont les deux motifs d'insatisfaction de la part des utilisateurs (Ramos, 2017; Russell, 2016; Trottier, 2017). Le risque pour les organismes gestionnaires est grand d'un point de vue financier également avec de possibles recours de la part des usagers (Trottier, 2017). Par conséquent, la réalisation des horaires des bus est un service essentiel dans la relation entre gestionnaire et utilisateur des bus. La communication de ces horaires aux utilisateurs est un enjeu de transparence et de satisfaction de l'expérience de transport.

L'ajout de solutions IoT pour localiser et transmettre les positions en temps réel la position des bus est une tendance globale (Siel Paris, Init Montréal, Trapeze Londres)

mais cela pose également question sur la manière dont le service évolue au cours du temps avec l'arrivée de nouvelles solutions. C'est ce que nous allons voir dans la section suivante.

### 5.2.2 Évolution de la gestion des horaires de bus

#### i. Niveau 0 : Primitif

Le niveau 0, Primitif, correspond à un niveau sans l'utilisation de l'IoT pour réaliser la collecte et l'affichage des horaires de bus.

Du point de vue des caractéristiques du service (Tableau 5.7, colonne 1), l'intervention humaine consiste à un comptage réalisé par une personne physique dans le bus qui note l'heure de passage sur une feuille de papier. Elle note les temps de passage à chaque station le long du parcours.

La gestion de la donnée par l'humain est totale avec sa capture, son transfert sur papier, son traitement, analyse et l'action (réalisation des grilles horaires et leur affichage papier).

Le type de données produites est physique et statique (retranscription papier de l'heure de passage).

La fréquence de mise à jour est lente et variable selon les politiques des régies de transport.

L'accès à l'information est en direct sur une montre et sur papier.

Il n'y a pas de technologie de l'IoT dans ce niveau d'évolution (Tableau 5.7, colonne 2).

Tableau 5.7 Niveau 0 Gestion des horaires de bus

Caractéristiques des processus/services dans la VI	Utilisation des technologies de l'IoT	Exemple de technologie facilitatrice du niveau
1. Niveau d'intervention humaine requis : totalement dépendante	v. Fonctionnalité principale utilisée : aucune	a) Capture de données : aucune
2. Gestion de la donnée par l'humain : capture des temps de passages, sous forme manuscrite, traitement et analyse des données pour création d'un horaire définitif	vi. Gestion de la donnée par la technologie : aucun	b) Communication des données : aucune
3. Type de données : physique et statique (papier)	vii. Portée de la technologie : aucune	c) Entreposage des données : aucun
4. Fréquence de mise à jour : peu fréquente (dépend des politiques des régies de transport)	viii. Qualité de la donnée : aucune	d) Traitement des données-transactions : aucun
5. Accès à l'information: en direct		e) Analyse des données : aucun
		f) Disponibilité des données : aucune

Dans la pratique, il n'y a pas de technologie IoT facilitatrice (Tableau 5.7, colonne 3). Il y a simplement une disponibilité des données sur papier (par exemple Figure 5.12). Cela produit des horaires définitifs applicables à certaines périodes de l'année (vacances, weekend, jours fériés). Ces horaires sont peu mis à jour et peu flexibles.

Horaires valables au 01/09/2014				
<b>283</b> Direction:		<b>14<sup>e</sup> Arrondissement Denfert Rochereau Métro</b> 		
Arrêt:		Orly Sud		
Lundi	Mardi, mercredi, jeudi	Vendredi	Samedi	Dimanche et fêtes
06h 00 12 24 35 45 55	06h 00 16 31 41 51	06h 00 15 30 44 56	06h 00 20 39 57	06h 00 20 40 56
07h 05 15 25 35 46 57	07h 02 14 27 40 54	07h 06 20 31 42 53	07h 10 23 36 49	07h 06 20 32 44 56
08h 08 19 30 41 52	08h 08 23 38 53	08h 04 15 26 37 46 59	08h 02 15 28 41 54	08h 06 20 32 44 56
09h 03 14 25 37 49	09h 08 23 37 50	09h 10 21 32 43 54	09h 07 20 33 46 59	09h 06 20 32 44 56
10h 01 13 25 37 49	10h 04 18 32 46	10h 05 15 27 39 52	10h 12 25 38 51	10h 06 20 32 44 56
11h 01 13 25 37 49	11h 00 14 26 42 56	11h 05 18 32 47	11h 04 17 31 45 59	11h 06 20 32 44 56
12h 01 13 25 37 49	12h 10 24 38 52	12h 02 17 32 47	12h 13 27 41 55	12h 06 20 32 44 56
13h 01 13 25 37 49	13h 06 21 36 51	13h 02 17 31 44 56	13h 09 23 37 51	13h 06 20 32 44 56
14h 01 13 25 37 49	14h 06 21 36 51	14h 06 20 32 44 56	14h 06 21 35 49	14h 06 20 32 44 56
15h 01 13 25 37 49	15h 06 21 36 51	15h 06 19 30 40 50	15h 03 18 32 46	15h 05 16 27 37 47 57
16h 01 13 25 37 49	16h 06 21 35 49	16h 00 10 20 30 40 50	16h 00 13 28 41 52	16h 06 19 30 41 52
17h 01 13 25 37 47 57	17h 03 17 31 45 59	17h 00 10 20 30 40 50	17h 05 18 31 46 59	17h 03 14 25 36 46 56
18h 06 16 24 33 42 51	18h 13 27 41 55	18h 00 10 20 30 40 50	18h 10 23 37 51	18h 06 16 26 36 46 56
19h 00 09 19 29 39 49 59	19h 09 23 37 50	19h 00 10 20 30 40 50 59	19h 05 19 33 47	19h 06 16 26 36 46 56
20h 09 19 29 39 48 57	20h 03 17 31 45	20h 06 17 26 35 44 53	20h 01 15 29 43 57	20h 06 16 26 36 46 56
21h 07 16 25 34 43 52	21h 00 15 30 45	21h 02 11 20 30 40 50	21h 10 23 36 50	21h 06 16 26 36 46 56
22h 02 17 31 46	22h 00 15 30 45	22h 00 10 20 30 40 51	22h 04 18 32 46	22h 06 16 26 36 46 56
23h 01 15 30	23h 00 15 30	23h 02 13 24 35	23h 00 15 30	23h 06 17 28 38 49
00h 00 30	00h 00 30	00h 00 30	00h 00 30	00h 00 11 30

Vacances scolaires	
Jeu	Dim
22h 13 30 50	22h 00 09 19 29 39 49
23h 10 30	23h 00 11 22 33 45
00h 00 30	00h 00 15 30

Figure 5.12 Grille horaire de la ligne Orlybus (Paris)

## ii. Niveau 1 : Digitalisation

Le niveau 1, Digitalisation, introduit l'utilisation d'outils IoT pour aider au comptage des horaires avec une sauvegarde numérique à l'aide d'un chronomètre.

Du point de vue des caractéristiques du service (Tableau 5.8, colonne 1), l'intervention humaine consiste à déclencher un enregistrement de temps dans le chronomètre au passage à la station.

La gestion de la donnée par l'humain concerne : la capture du temps du passage sur le chronomètre, du transfert à partir du chronomètre des temps de passage vers un outil de traitement et d'analyse aidant à la création des horaires. Un membre du personnel se déplace pour les afficher sur les stations.

Le type de données produites est digital et statique (la donnée reste stockée dans le chronomètre).

La fréquence des mises à jour dépend des politiques de mise à jour des régies de transport.

L'accès à l'information se fait en direct par un déclenchement du chronomètre par l'humain. Du point de vue de l'utilisation des technologies de l'IoT (Tableau 5.8, colonne 2), la fonctionnalité principale introduite dans ce niveau s'oriente surtout sur l'acquisition et l'enregistrement des temps de passage à l'aide de chronomètre ayant la capacité de stockage. La gestion de la donnée par les technologies IoT consiste en la capture et le stockage numérique de ses données. La portée de la technologie se fait en direct et il n'est pas nécessaire de communiquer à distance. La qualité de la donnée reste brute et correspond à un temps de passage qu'il faudra associer à une station.

Tableau 5.8 Niveau 1 Gestion des horaires de bus

Caractéristiques des processus/services dans la VI	Utilisation des technologies de l'IoT	Exemple de technologie facilitatrice du niveau
1. Niveau d'intervention humaine requis : fortement dépendante de l'humain	i. Fonctionnalité principale utilisée : acquisition et enregistrement d'un temps de passage du bus	a) Capture de données : chronomètre avec mémoire, téléphone, ordinateur
2. Gestion de la donnée par l'humain : capture des temps de passage sous forme numérique, transfert puis analyse de données pour horaires définitifs	ii. Gestion de la donnée par la technologie : stockage iii. Portée de la technologie : Aucune iv. Qualité de la donnée : brute, temps de passage et localisation	b) Communication des données : aucune ou direct (câble) c) Entreposage des données : disque dur interne des appareils d) Traitement des données-transactions : bureautique (Excel, Access)
3. Type de données : digital et statique (sur chronomètre)		e) Analyse des données : absent
4. Fréquence de mise à jour : peu fréquente (dépend politiques régies de transport)		f) Disponibilité des données : absent
5. Accès à l'information: en direct		

Dans la pratique, cela correspond à l'arrivée de chronomètre avec mémoire (Figure 5.13) ou des applications mobiles de chronomètre permettant le transfert des temps de passage.



Figure 5.13 Chronomètre numérique Leap

Ces solutions nécessitent toujours une intervention humaine pour transférer les données capturées par le chronomètre.

### iii. Niveau 2 : Automatisation

La création des horaires est réalisée par l'utilisation des données de géolocalisation du bus et son temps de passages dans les stations.

Du point de vue des caractéristiques du service (Tableau 5.9, colonne 1), l'intervention humaine consiste à l'analyse par un technicien des données de géolocalisation et des temps de passage afin d'établir des horaires qui seront installés sur chaque station. La gestion des données par l'humain ne concerne que la partie analyse et action finale (création et affichage des horaires). Le type de données produites est digital et statique (uniquement accessible par le gestionnaire). La fréquence de mise à jour est fortement augmentée et plus ponctuelle du fait de la ressource humaine qui diminue dans la réalisation de la capture et du transfert de la donnée. L'accès à l'information se fait en opt-out passif pour les données géolocalisées.

Du point de vue de l'utilisation des technologies de l'IoT (Tableau 5.9, colonne 2), la fonctionnalité principale est la capture de la localisation GPS du bus sur un parcours. Le parcours complet ainsi que les temps de passage sont sauvegardés afin d'être analysés. La gestion de la donnée par la technologie IoT concerne la partie capture, transfert et traitement de la donnée. La portée de géolocalisation doit être longue grâce au GPS ainsi que permettre le transfert à distance des données collectées au retour dans les dépôts.

La qualité des données récoltées est brute avec des données comportant des coordonnées spatiales et des coordonnées numériques.

Tableau 5.9 Niveau 2 Gestion des horaires de bus

Caractéristiques des processus/services dans la VI	Utilisation des technologies de l'IoT	Exemple de technologie facilitatrice du niveau
1. Niveau d'intervention humaine requis : Importante dans la partie analyse des données	i. Fonctionnalité principale utilisée : capture de la localisation géographique et temporelle	a) Capture de données : boîtier GPS, boîtier GSM/GPRS, balises RFID, traceurs
2. Gestion de la donnée par l'humain : analyse des données géolocalisées (station, temps) pour création des horaires	ii. Gestion de la donnée par la technologie : capture, transfert et traitement	b) Communication des données : géolocalisation (GPS), transfert : WiFi, réseau mobile
3. Type de données : digital et statique	iii. Portée de la technologie : longue portée pour la géolocalisation précise du bus	c) Entreposage des données : localisée (dans bus), centralisée (remontée des données)
4. Fréquence de mise à jour : ponctuelle du fait de l'automatisation de la collecte (jour, semaine, mois)	iv. Qualité de la donnée : brute avec des coordonnées spatiales et un temps de passage.	d) Traitement des données-transactions : basique des outils de gestion des bases de données
5. Accès à l'information: en opt-out passif pour les données géolocalisées		e) Analyse des données : absent f) Disponibilité des données : site internet, application mobile

Dans la pratique, les technologies IoT facilitatrices (Tableau 5.9 Colonne 3) sont celles utilisant le principe de la localisation GPS (Figure 5.14). Par exemple, la solution Geoflotte dissimule une balise GPS dans le tableau de bord qui est alimenté de façon permanente par le véhicule<sup>13</sup>.

Les données de la balise GPS sont stockées sur les serveurs Geoflotte et sont accessibles sur une interface en ligne MyGeotracteur.

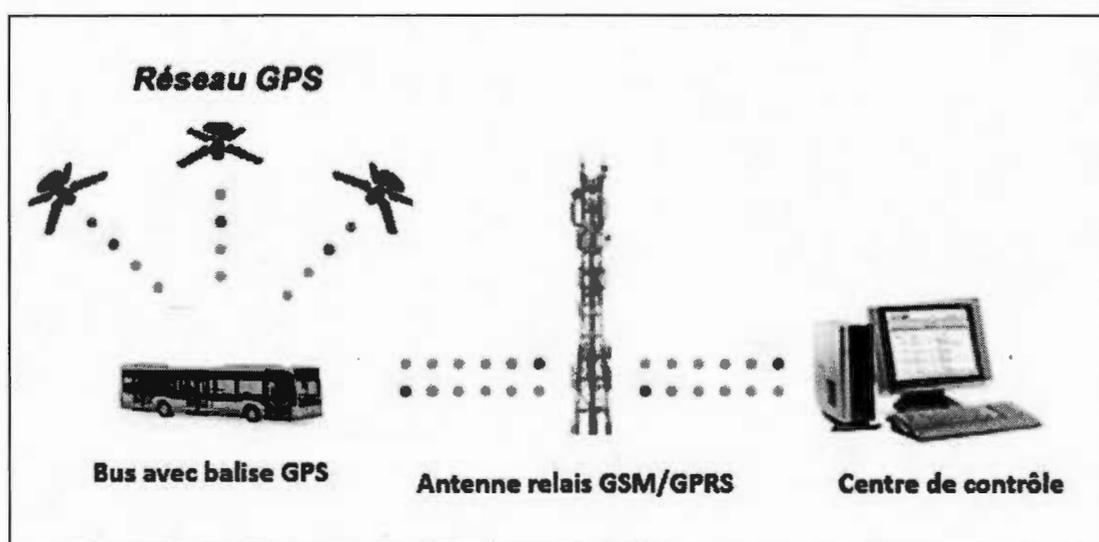


Figure 5.14 Schéma illustrant le fonctionnement du GPS

Les données de géolocalisation sont accessibles uniquement dans les centres de gestion des régions de transport. Le voyageur n'a pas accès à ses données lorsqu'il emprunte les transports.

<sup>13</sup>Geoflotte. (date n.c.). *Interface de géolocalisation simple et intuitive*. Récupéré de : <https://www.geoflotte.fr/geoflotte/192-geolocalisation-vehicule-geoflotte.html>

#### iv. Niveau 3 : Dynamique

L'utilisateur dispose, à ce niveau, d'information en temps réel sur la situation des bus.

Du point de vue des caractéristiques du service (Tableau 5.10, colonne 1), nous avons une diminution de l'intervention humaine dans le service qui se limite à des cas particuliers comme la création de nouveaux trajets ou la modification d'un parcours.

La gestion de la donnée ne dépend plus de l'humain. Le type de données produites est digital et dynamique avec la connaissance en temps réel de la position d'un bus. La fréquence de mise à jour des horaires est en quasi-temps réel pour la localisation des bus et l'utilisateur dispose d'une estimation d'arrivée pour le prochain bus. L'accès à l'information est en opt-out passif pour les données géolocalisées.

Du point de vue des technologies de l'IoT (Tableau 5.10, colonne 2), la géolocalisation et la transmission des estimations sont les fonctionnalités principales utilisées. La gestion de la donnée par la technologie IoT concerne tous les processus du service : de la capture, du transfert, du traitement, de l'analyse et de l'affichage des prochaines arrivées. La portée de la technologie répond à un besoin longue distance afin de pouvoir localiser le bus, transmettre cette localisation pour la traiter (Figure 4.14) et renvoyer les estimations de passage vers les panneaux d'affichage ou sur un site web. La qualité de la donnée évolue passant d'une donnée brute de géolocalisation à une donnée qualifiée permettant d'afficher précisément l'horaire d'arrivée d'un bus à une station en temps réel.

Tableau 5.10 Niveau 3 Gestion des horaires de bus

Caractéristiques des processus/services dans la VI	Utilisation des technologies de l'IoT	Exemple de technologie facilitatrice du niveau
1. Niveau d'intervention humaine requis : aucun sauf cas exceptionnels (nouveaux trajets, modification trajets,...)	i. Fonctionnalité principale utilisée : géolocalisation temps réel et transmission des estimations de passage	a) Capture de données : appareil de tracking de position (GPS, Galileo)
2. Gestion de la donnée par l'humain : aucune	ii. Gestion de la donnée par la technologie : capture, transfert, traitement, analyse et actualisation des horaires	b) Communication des données : GPS, GSM
3. Type de données : digitale et dynamique	iii. Portée de la technologie : longue portée (transmission position du bus puis transmission vers stations)	c) Entreposage des données : base de données centralisée
4. Fréquence de mise à jour : temps réel pour le positionnement du bus	iv. Qualité de la donnée : qualifié avec la présence en quasi-temps réel de la durée estimée du passage des bus	d) Traitement des données-transactions : serveur centre de contrôle
5. Accès à l'information: opt-out passif à partir de balises GPS		e) Analyse des données : application de gestion de flotte
		f) Disponibilité des données : panneau d'affichage, internet fixe et mobile, application

Dans la pratique, les technologies IoT facilitatrice du niveau (Tableau 5.10, colonne 3) reprennent celle du niveau précédant en ajoutant des outils permettant la disponibilité d'informations aux usagers par l'intermédiaire d'applications (mobile ou web) ou des écrans d'affichage.

Par exemple, la CDTA (Capital District Transportation Authority) à Albany (États-Unis) a mis en place en 2005 un Intelligent Transportation Management System (ITMS). Avec 2800 arrêts et 330 bus en circulation, la CDTA doit gérer plus de 17 millions de voyageurs. L'un des objectifs de la solution était d'améliorer la qualité du service au client en l'informant sur la position des bus. Les données de géolocalisation sont fournies aux voyageurs par plusieurs sources : application mobile, site internet, affiche dans et en dehors des bus. (Figure 5.15)



Figure 5.15 Centrale de coordination CDTA et son application mobile

Un autre exemple est l'application SIEL (Système d'information en Ligne) de la RATP (France) qui utilise les technologies pour une information de l'utilisateur en temps réel dans la station (affichage électronique) (Figure 5.16) ou dans le bus (affichage électronique et vocal).



Figure 5.16 Ecran d'affichage application du SIEL RATP France

#### v. Niveau 4 : Optimisation

Ce dernier niveau correspond à une personnalisation des horaires en fonction de paramètres spécifiques (congestion, habitude de voyage, longueur, durée...).

Du pont de vue des caractéristiques de service (Tableau 5.11, colonne 1) l'intervention humaine n'est plus requise dans la réalisation du service.

La gestion de la donnée par l'humain est inexistante.

Le type de données produites est digital et dynamique avec une prévision spécifique, adaptée à un usager.

La fréquence de mise à jour des horaires est en temps réel pour la localisation des bus et ponctuel pour la prévision du parcours offerte à l'utilisateur.

L'accès à l'information est en opt-out passif pour les données géolocalisées des bus et en opt-out actif pour la collecte de l'historique de voyage de l'utilisateur.

Du point de vue de l'utilisation des technologies de l'IoT (Tableau 5.11, colonne 2), la fonctionnalité principale utilisée est l'analyse des données de géolocalisation et de l'historique de voyage afin d'offrir un parcours de voyage avec les horaires les plus adaptés.

La gestion des données dépend totalement des technologies de l'IoT : de la capture des données à la réalisation de la prévision de parcours.

La portée de la technologie demandée est longue afin de localiser le bus et transmettre les informations à l'utilisateur le plus efficacement possible.

La qualité de la donnée résultante est très qualifiée au final puisque spécifique pour l'utilisateur.

Tableau 5.11 Niveau 4 Gestion des horaires de bus

Caractéristiques des processus/services dans la VI	Utilisation des technologies de l'IoT	Exemple de technologie facilitatrice du niveau
1. Niveau d'intervention humaine requis : plus aucune	i. Fonctionnalité principale utilisée : analyse des données récoltées sur le passage des bus et de l'historique de déplacement de l'utilisateur	a) Capture de données : appareil de tracking de position (GPS, Galileo)
2. Gestion de la donnée par l'humain : aucune	ii. Gestion de la donnée par la technologie : capture, transfert, traitement, analyse et affichage du parcours	b) Communication des données : longue distance faible énergie (LoraWan, Sigfox)
3. Type de données : numérique dynamique adaptée à l'utilisateur	iii. Portée de la technologie : longue	c) Entreposage des données : base de données centralisée
4. Fréquence de mise à jour : en temps réel et prédictivité	iv. Qualité de la donnée : très qualifiée et personnalisée au trajet de l'utilisateur.	d) Traitement des données-transactions : outils de gestion de base de données, intégration au progiciel existant
5. Accès à l'information: direct sur application mobile ou internet		e) Analyse des données : outils de bureautique de base, outils de visualisation en temps réel
		f) Disponibilité des données : internet fixe et mobile, application

Dans la pratique, les technologies IoT facilitatrices (Tableau 5.11, colonne 3) du niveau sont celles permettant d'analyser de grande quantité de données générées par les passagers, les bus ou la circulation. Par exemple : Google Maps est une des applications de carte permettant la visualisation de déplacement quotidien. Elle s'appuie sur des données produites par les utilisateurs (selon les conditions générales par l'utilisation du GPS chez les possesseurs d'Android) mais également provenant d'acteurs tiers (Foursquare, Yelp, Uber, Autolib etc.).

À partir de toutes ces données, l'application est capable d'offrir un parcours adapté aux préférences du voyageur (Figure 5.17). La limite de l'application est que cela demeure du temps réel ou de la prédictivité proche (un incident peut arriver entre temps)

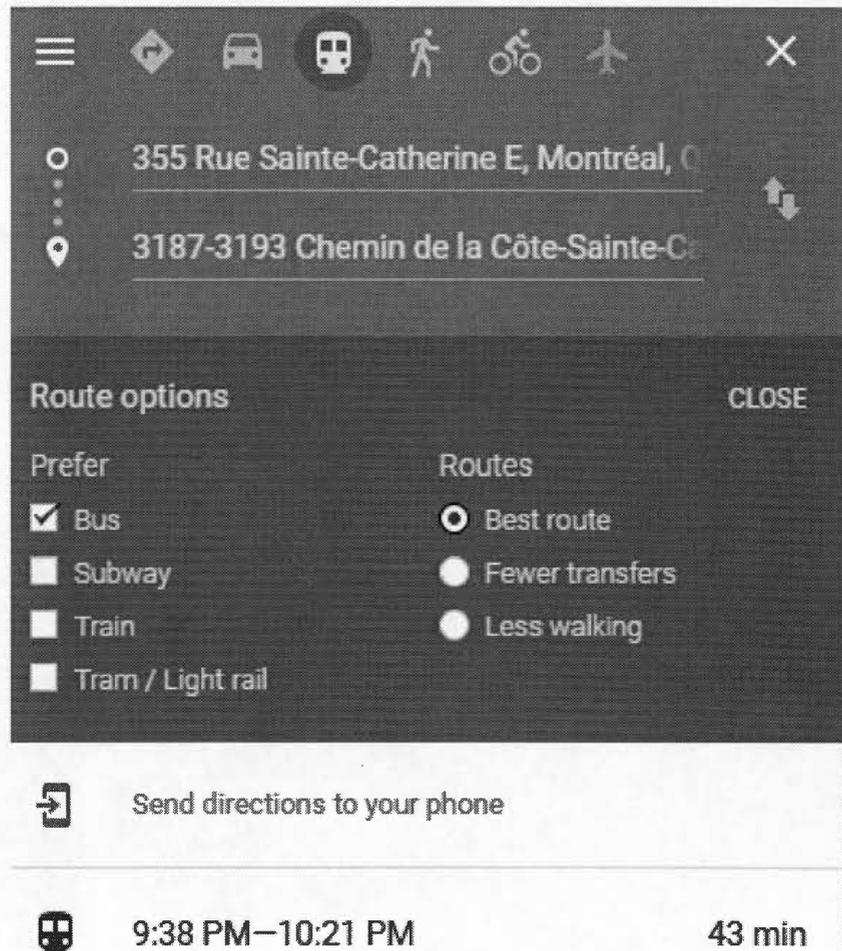


Figure 5.17 Options de parcours : Best route, Fewer Transfers ,Less Walking (Maps)

Dans les nouvelles solutions proposées, à Londres, la société Citymapper a mis sur place des lignes de smartbus collectant une multitude de données (entrées -sorties du bus, occupation en temps réel,...).

Ces données permettent de prédire à l'avance l'occupation des bus selon les horaires et stations en fournissant à l'utilisateur d'un % d'occupation enfin d'éviter les heures d'affluence (Figure 5.18).

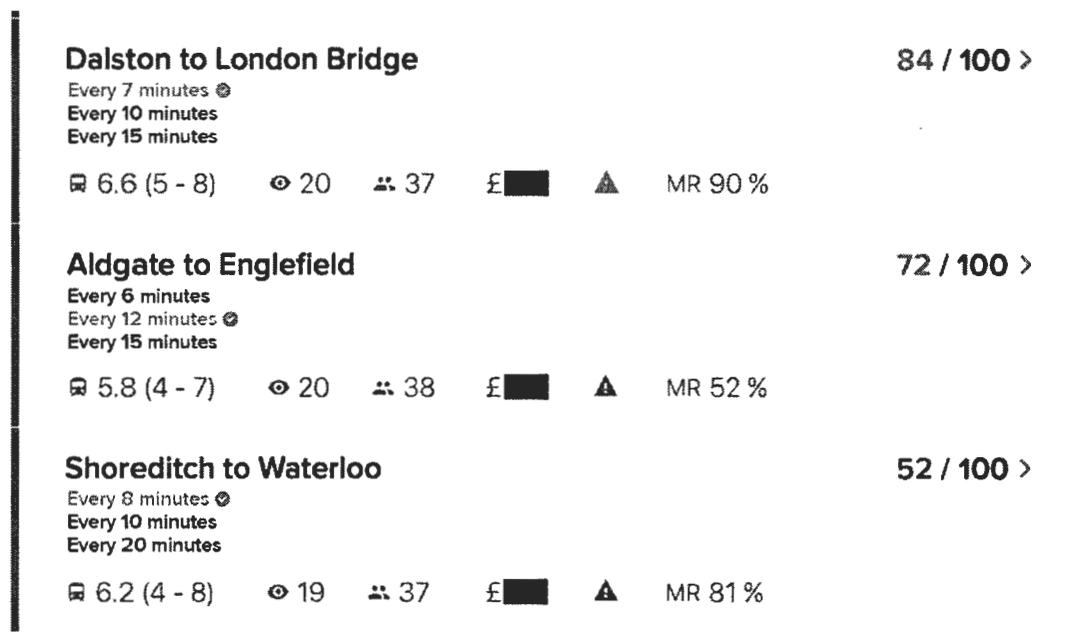


Figure 5.18 Capture d'écran de l'application Citymapper

### 5.2.3 Bilan de l'évolution de la gestion des horaires de bus

L'évolution du service de gestion des horaires de bus dérive fortement de sa fonction première primitive consistant à offrir un horaire papier aux utilisateurs en offrant des informations complémentaires pour le parcours de l'utilisateur.

À l'avenir, tout comme dans le projet 1, les véhicules autonomes, et dans ce cas-ci les bus autonomes, sont une piste de recherche et de développement chez les constructeurs et les gestionnaires de réseaux. L'entreprise Transdev à l'APTA Expo 2017 (Comfort, 2017) a présenté ses avancées en matière de navette sans conducteur. Pour le moment, nous restons à des simulations dans des milieux non urbain et fermé mais les solutions à venir permettront de gérer des flottes de bus sans pilotes permettant une plus grande flexibilité dans l'allocation des ressources de flottes.

### 5.3 Projet 3 : Gestion de la relève de la consommation électrique d'un logement

Les enjeux écologiques et économiques poussent à un meilleur contrôle de la consommation électrique pour les particuliers. La relève de la consommation électrique s'inscrit dans un long cycle partant de la production à la consommation.

Dans notre cas, nous entendons par la relève de la consommation électrique d'un logement, le processus qui consiste à relever la consommation au compteur pour rédiger une facture. Ces données transmises on peut les utiliser pour prévoir la consommation générale et la production d'électricité nécessaire pour les besoins de la population.

#### 5.3.1 Contexte de la relève de la consommation électrique d'un logement

La relève de la consommation électrique d'un logement s'inscrit dans un contexte global de prise de conscience de l'impact humain sur l'environnement (GIEC, 2014).

L'arrivée sur le marché de compteur intelligent communicant à distance raccourcit significativement la prise de connaissance de sa consommation. Cette donnée produite s'inscrira dans un cycle de l'énergie globale partant de la production de l'énergie selon différentes sources (nucléaire, hydroélectrique, charbon, solaire...) à sa consommation (industriel, particulier...).

Au cours des dix dernières années grâce à l'arrivée des technologies de l'IoT, la relève de la consommation a permis la production de données facilement manipulables et traitables, offrant une meilleure connaissance de l'état actuel de la consommation et par conséquent des besoins de production.

L'exécution de notre matrice pour cet exemple permettra de voir l'apport des différents niveaux d'évolution dans la réalisation du processus. Nous nous appuyerons sur les niveaux d'évolution définis par Zivic, Obaid, and Ruland (2015) lors de leur recherche sur l'évolution des compteurs électriques à savoir Manual Meter Reading (MMR), Electronic Meter Reading (EMR), Automated Meter Reading (AMR), Advanced Metered Infrastructure (AMI) et Smart Grid.

### 5.3.2 Évolution de la relève de la consommation électrique d'un logement

#### i. Niveau 0 : Primitif

Le niveau 0, Primitif, correspond à l'absence de technologie IoT dans la relève de consommation électrique.

Du point de vue des caractéristiques du service (Tableau 5.12, colonne 1), le niveau d'intervention humaine se traduit par le déplacement d'un technicien au domicile afin de noter la consommation de chaque compteur électromécanique sur papier pour les traiter par la suite (Figure 5.19).



Figure 5.19 Relève de compteur électromécanique

La gestion de la donnée dépend totalement de l'humain puisque c'est lui qui l'a créé sur papier, l'analyse et la traite pour facturation.

Le type de donnée est physique et statique, car il s'agit d'une donnée manuscrite non manipulable exacte uniquement au moment de la relève.

La fréquence de mise à jour dépendra des politiques de relèves des gestionnaires (mensuel, trimestriel, annuel...)

L'accès à l'information est en direct sur le compteur puis sur papier.

Il n'y a pas d'utilisation de technologie de l'IoT pour ce niveau d'évolution (Tableau 5.12, colonne 2).

Tableau 5.12 Niveau 0 Gestion de relève de la consommation électrique

Caractéristiques des processus/services dans la VI	Utilisation des technologies de l'IoT	Exemple de technologie facilitatrice du niveau
1. Niveau d'intervention humaine requis : totalement dépendante du technicien	i. Fonctionnalité principale utilisée : aucune	a) Capture de données : absente
2. Gestion de la donnée par l'humain : création de la donnée lors de la relève sur papier et transcription dans le système d'information	ii. Gestion de la donnée par la technologie : aucune	b) Communication des données : absente
3. Type de données : physique et statique (consommation en kWh exacte à un moment T)	iii. Portée de la technologie : aucune	c) Entreposage des données : Absent
4. Fréquence de mise à jour : dépend de la politique du gestionnaire (mensuel, trimestriel, semestriel)	iv. Qualité de la donnée : aucune	d) Traitement des données-transactions : aucune
5. Accès à l'information: en direct sur compteur		e) Analyse des données : aucune
		f) Disponibilité des données : absent

Dans la pratique les politiques de relèves peuvent varier par exemple, la société Enedis (Ex-ERDF), responsable du réseau électrique français, procède au relevé des compteurs électriques tous les 6 mois<sup>14</sup> alors que Western Power en Australie plutôt tous les mois ou les deux mois<sup>15</sup> mais cela ne fait pas intervenir les technologies de l'IoT.

## ii. Niveau 1 : Digitalisation

L'introduction de compteurs numérique diminue le risque d'erreur lors de la lecture et du report sur papier de la consommation électrique.

Du point de vue des caractéristiques du service (Tableau 5.13, colonne 1), le technicien note les consommations de chaque compteur électronique sur papier ou sur un terminal mobile afin de les analyser par la suite (Figure 5.20). La visite au

<sup>14</sup> Enedis. (date n.c.). *Relever mon compteur*. Récupéré de : <http://www.enedis.fr/relever-mon-compteur>

<sup>15</sup> Western Power. (date n.c.). *What is the meter reading process*. Récupéré de : <https://westernpower.com.au/support/what-is-the-meter-reading-process/>

domicile entraîne la création d'une donnée de consommation en kWh qui donnera, après traitement, une facturation de consommation électrique. Le type de données produites est statique et exact uniquement au moment de la relève à un instant T. La périodicité de mise à jour dépendra de la fréquence de visite des techniciens de relève selon la politique du gestionnaire du réseau. L'accès à l'information se fait en direct ou en push à proximité des compteurs.



Figure 5.20 Affichage digitale de la consommation

Du point de vue de l'utilisation des technologies de l'IoT (Tableau 5.13, colonne 2) la fonctionnalité principale est la mesure de la consommation ainsi que son affichage numérique. La donnée est uniquement générée par le compteur, mais demeure dans celui-ci jusqu'à l'extraction par un technicien. La portée de la technologie n'est pas utile ou bien très proche.

La qualité de la donnée est brute ce n'est que la mesure en kWh de la consommation enregistrée par le compteur.

Tableau 5.13 Niveau 1 Gestion de relève de la consommation électrique

Caractéristiques des processus/services dans la VI	Utilisation des technologies de l'IoT	Exemple de technologie facilitatrice du niveau
1. Niveau d'intervention humaine requis : fortement dépendante du technicien	i. Fonctionnalité principale utilisée : mesure, stockage local et affichage	a) Capture de données : Smartphone, terminal mobile
2. Gestion de la donnée par l'humain : création de la donnée lors de la relève puis traitement et analyse par les techniciens	ii. Gestion de la donnée par la technologie : capture et stockage	b) Communication des données : application QR code
3. Type de données : physique et statique (consommation en kWh exacte à un moment T)	iii. Portée de la technologie : aucune	c) Entreposage des données : serveur web
4. Fréquence de mise à jour : dépend de la politique du gestionnaire (mensuel, trimestriel, semestriel)	iv. Qualité de la donnée : consommation au moment de la relève	d) Traitement des données-transactions : web application
5. Accès à l'information: sur le compteur directement		e) Analyse des données : application propriétaire f) Disponibilité des données : internet

Dans la pratique, les technologies IoT facilitatrices (Tableau 5.13, colonne 3) sont celles qui permettent la prise de note numérique de la consommation affichée sur le compteur électrique.

Par exemple, la société ginstr<sup>16</sup> (Allemagne) a mis en place une solution qui s'appuie sur une application mobile afin de faciliter la prise de note. Le technicien inscrit deux fois sur l'application la consommation qu'il lit (Figure 5.21).

<sup>16</sup> Ginstr. (date n.c.). *Electric Meter ReadingEasily monitor your properties' electric, water, and natural gas consumption*. Récupéré de: <https://www.ginstr.com/electric-meter-reading-android-app/>



Figure 5.21 Relève de compteur par l'app ginstr par double validation

La réduction du risque d'erreur lié à la relève manuscrite est un des critères recherchés dans ce niveau. Néanmoins dans tous les cas un technicien doit toujours se rendre près d'un compteur pour la relève.

### iii. Niveau 2 : Automatisation

Ce niveau introduit la transmission à distance des données de consommation enregistrée par les compteurs vers un terminal mobile. Selon Zivic et al. (2015), cela correspond à l'AMR qui se définit par un « system where aggregated kWh usage, and in some cases demand, is retrieved via an automatic means such as a drive-by vehicle or walk-by handheld system » (Demand Response and Advanced Metering Coalition).

Du point de vue des caractéristiques du service (Tableau 5.14, colonne 1) l'intervention humaine consiste au déplacement d'un technicien qui est équipé de lecteur capable de communiquer de courte à moyenne distance avec les compteurs électriques de chaque logement. La gestion de la donnée par l'humain consiste à enclencher le transfert de la donnée de consommation qui peut se faire en drive-by ou walk-by par un technicien qui se rend près des compteurs électriques. Le type de données capturées est digital et statique représentant la consommation en kWh au moment de la relève. La périodicité des relèves dépendra des politiques des gestionnaires des réseaux d'électricité. L'accès à l'information se fait en push, c'est le technicien qui enclenche le transfert lors de ses passages.

Du point de vue de l'utilisation des technologies de l'IoT (Tableau 5.14, colonne 2), la fonction principale exploitée est le transfert sans contact pour transférer à courte distance les données de consommation stockée dans le compteur numérique. La gestion de la donnée par la technologie IoT commence dès que le technicien enclenche le transfert puis le traitement, l'analyse et la facturation. La portée de la technologie est de courte à moyenne distance, en effet le technicien doit tout de même se trouver à proximité pour enclencher le transfert.

La qualité de la donnée est assez basse avec une consommation en kWh utilisé uniquement pour la facturation, mais celle-ci est exempte d'erreur de retranscription.

Tableau 5.14 Niveau 2 Gestion de relève de la consommation électrique

Caractéristiques des processus/services dans la VI	Utilisation des technologies de l'IoT	Exemple de technologie facilitatrice du niveau
1. Niveau d'intervention humaine requis : dépendante du technicien	i. Fonctionnalité principale utilisée : transfert de données sans contact	a) Capture de données : compteur numérique, terminal mobile
2. Gestion de la donnée par l'humain : déclenchement du transfert et transport de la donnée	ii. Gestion de la donnée par la technologie : capture, stockage et transfert	b) Communication des données : radio fréquence, NFC, QR code, code-barres
3. Type de données : physique et statique (consommation en kWh exacte à un moment T)	iii. Portée de la technologie : courte	c) Entreposage des données : terminal mobile
4. Fréquence de mise à jour : dépend de la politique du gestionnaire (mensuel, trimestriel, semestriel)	iv. Qualité de la donnée : consommation au moment de la relève	d) Traitement des données-transactions : aucun
5. Accès à l'information: à proximité du compteur		e) Analyse des données : aucune
		f) Disponibilité des données : aucune

Dans la pratique, les technologies IoT facilitatrices (Tableau 5.14, colonne 3) concernent les outils de communication à courte et moyenne distance.

Les compteurs PowerLogic PM5000 de Schneider-Electric utilisent les QR code pour la lecture de la consommation (Figure 5.22)



Figure 5.22 Reconnaissance par QR code compteur PM5000 (Schneider-Electric)

Le déplacement du technicien est toujours nécessaire même si le processus de collecte est simplifié.

#### iv. Niveau 3 : Dynamique

La relève effectuée à ce niveau permet la mise à jour en temps réel de la consommation électrique d'un logement. Selon Zivic (2015), cela correspond à l'AMI qui se définit par un « metering system that records customer consumption hourly or more frequently and that provides for daily or more frequent transmittal of measurements over a communication network to a central collection point » (Federal Energy Regulatory Committee).

Du point de vue des caractéristiques du service (Tableau 5.15, colonne 1), l'intervention d'un technicien n'est plus nécessaire. La gestion de la donnée n'est plus assurée par l'humain, la facturation peut être réalisée automatiquement. Le type de données produites est sous forme digitale et dynamique, les données de consommation sont envoyées en temps réel. La fréquence de mise à jour est améliorée du fait de ne plus avoir à se rendre dans les domiciles. L'accès à l'information est fait en opt-out actif, car en règle générale le gestionnaire des réseaux demande une autorisation de la part de l'utilisateur.

Du point de vue de l'utilisation des technologies de l'IoT (Tableau 5.15, colonne 2), la fonctionnalité principale utilisée est la capture de données de consommations complémentaires autres que la consommation du moment en kWh. La gestion de la donnée par la technologie IoT concerne tout le cycle de la capture à la production de rapport de consommation. La portée de la technologie doit permettre la transmission à longue distance des données collectées. La qualité des données fournies par les technologies AMI est plus élevée : utilisation cumulée de kWh, utilisation quotidienne de kWh, temps de consommation, journal de panne... Tous ces éléments sont disponibles en temps réel et à la demande.

Tableau 5.15 Niveau 3 Gestion de relève de la consommation électrique

Caractéristiques des processus/services dans la VI	Utilisation des technologies de l'IoT	Exemple de technologie facilitatrice du niveau
1. Niveau d'intervention humaine requis : faiblement dépendante du technicien (ne se déplace que dans le cas de problème (panne, etc.))	i. Fonctionnalité principale utilisée : capture des données de consommation multiples	a) Capture de données : compteur intelligent
2. Gestion de la donnée par l'humain : aucune	ii. Gestion de la donnée par la technologie : capture, transfert, traitement et analyse	b) Communication des données : CPL, WiFi, Lora, Zigbee,...
3. Type de données : digital et dynamique	iii. Portée de la technologie : longue distance	c) Entreposage des données : serveur central
4. Fréquence de mise à jour : en quasi-temps réel	iv. Qualité de la donnée : comportement de consommation complet d'un logement	d) Traitement des données-transactions : serveur central
5. Accès à l'information: opt-out actif		e) Analyse des données : application gestion de consommation
		f) Disponibilité des données : facture électronique

Dans la pratique, les technologies IoT facilitatrices (Tableau 5.15 Colonne 3) se retrouvent dans des compteurs intelligents capables d'utiliser des réseaux longues distances pour transmettre une grande quantité de données. Par exemple en France, nous retrouvons les compteurs intelligents Linky (EDF). Il permet l'automatisation totale de la facturation.

Le dispositif fonctionne de la manière suivante : compteur enregistre les relevés de consommation puis les transfère vers le distributeur qui le transfère au fournisseur et c'est le fournisseur qui établira la facture avec les détails de consommation électrique (Figure 5.23).

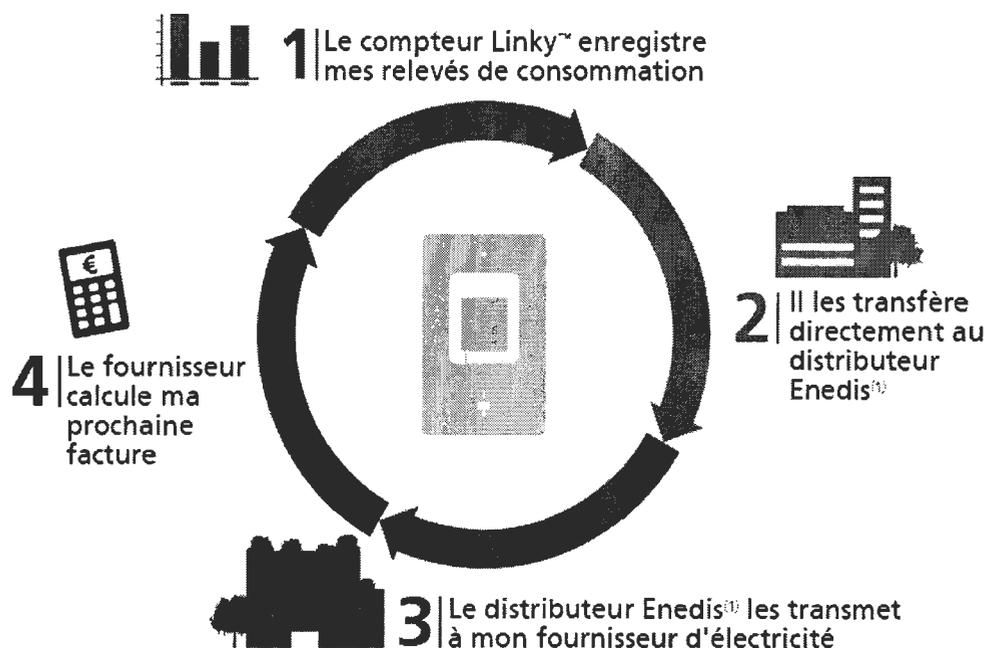


Figure 5.23 Fonctionnement du dispositif Linky (EDF)

#### v. Niveau 4 : Optimisation

Ce dernier niveau correspond à l'intégration de la relève de consommation à la gestion globale de l'approvisionnement énergétique : Le Smart Grid favorise une optimisation de la production, la distribution et de la consommation de l'énergie. Considéré comme la Troisième Révolution Industrielle par Rifkin (2011), le Smart Grid demeure encore un idéal à atteindre.

Du point de vue service dans la VI (Tableau 5.16 Colonne 1), le Smart Grid induit que l'individu ne réalise plus aucune action dans l'exploitation des compteurs intelligents. Le système est capable de s'autoréguler avec des données en temps réel accessible à distance avec des compteurs intelligents communicants avec le gestionnaire du réseau mais aussi avec les appareils électroniques d'un logement.

Du point de vue utilisation des technologies de l'IoT (Tableau 5.16 Colonne 2), le compteur n'est qu'un maillon de la chaîne énergétique. Il est capable d'interagir avec les appareils du domicile ainsi qu'avec les outils de production d'énergie afin d'optimiser la production d'énergie avec la consommation. La donnée est gérée tout le temps par les technologies de l'information avec la possibilité de déclencher des actions à la fin sans intervention humaine. Les données exploitées par le système contiennent les habitudes (historique) de consommations passées afin de prédire les besoins de production futurs.

Tableau 5.16 Niveau 4 Gestion de relève de la consommation électrique

Caractéristiques des processus/services dans la VI	Utilisation des technologies de l'IoT	Exemple de technologie facilitatrice du niveau
1. Niveau d'intervention humaine requis : aucun	i. Fonctionnalité principale utilisée :	a) Capture de données : compteur intelligent
2. Gestion de la donnée par l'humain : aucune	Capture des données de consommation multiples	b) Communication des données : CPL, WiFi, Lora, Zigbee,...
3. Type de données : digitale, dynamique, prédictive	ii. Gestion de la donnée par la technologie :	c) Entreposage des données : serveur central
4. Fréquence de mise à jour : temps réel	capture, transfert, traitement et analyse, action	d) Traitement des données-transactions : serveur central
5. Accès à l'information: opt-out actif	iii. Portée de la technologie : longue distance	e) Analyse des données : application gestion et prévention de consommation
	iv. Qualité de la donnée : consommation détaillée complète d'un logement	f) Disponibilité des données : application facturation détaillée et prévention

Dans la pratique, le Smart Grid demeure un idéal à atteindre, mais les politiques énergétiques mises en place vont vers ce sens (Ontario, 2016). Le Smart Grid est complexe à cause de l'importance des éléments qu'il faut faire communiquer tout du long du cycle de l'énergie : production, transport, consommation, recyclage.

Gungor et al. (2011) décrivent l'architecture d'une solution Smart Grid qui intègre une multitude de capteurs qui communiquent entre eux (Figure 5.24).

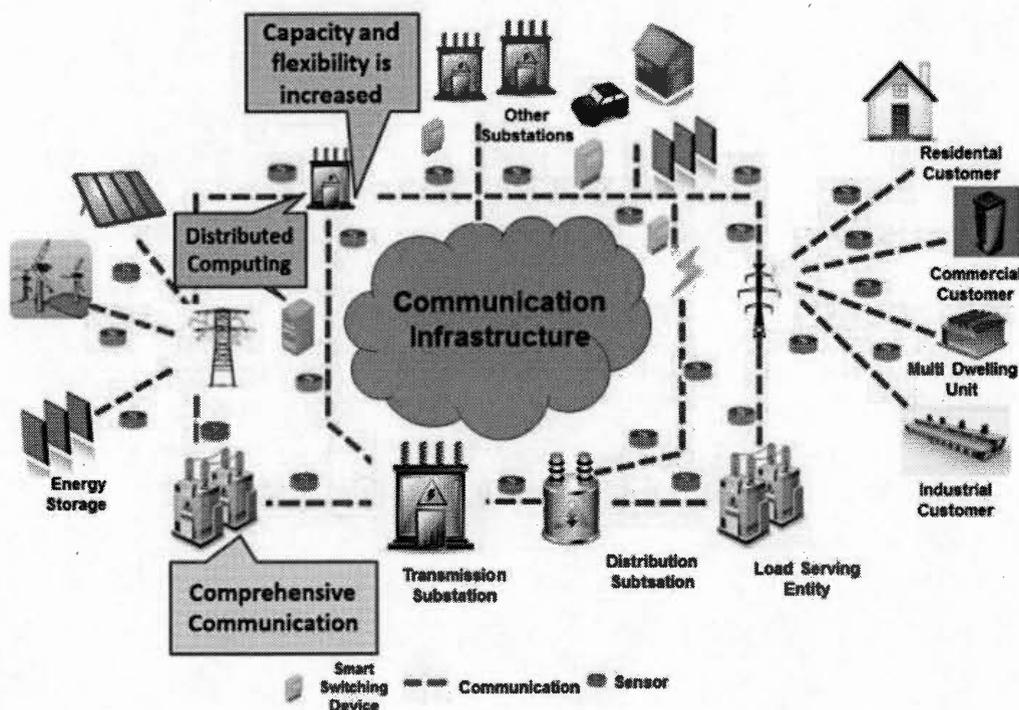


Figure 5.24 Architecture de Smart Grid (Gungor et al., 2011 p.2)

Les problèmes soulignés par les auteurs quant à la réalisation de telles solutions s'articulent autour de la multiplicité des standards de communication (GSM, GPRS, 3G, WiMax, PLC, Zigbee), la qualité du service (Quality of service), l'évolutivité (scalability), la sécurité (security) et la fiabilité des solutions (reliability).

### 5.3.3 Bilan de l'évolution de la relève de la consommation électrique d'un logement

L'évolution de la relève de la consommation électrique d'un logement suit précisément l'offre IoT présente aujourd'hui sur le marché. La prise de conscience globale avec le concept de Smart Grid implique l'utilisation de compteur intelligent permettant la communication à distance.

À l'avenir, nous observons une tendance à la communication avec les autres objets présents dans l'habitation. Le concept de Smart Home avec réfrigérateurs, lave-linges, sèche-linges, chauffage, climatisation ou lumières connectés permettra une optimisation accrue de sa consommation électrique et une meilleure adéquation avec les outils de production d'énergie sur le réseau.

## CHAPITRE 6

### CAS DE LA VILLE DE MONTRÉAL

Ce dernier chapitre doit nous permettre de raffiner notre modèle de coévolution de la VI et de l'IoT en nous basant sur la situation de la ville de Montréal. Ainsi les trois projets que nous avons expliqués au chapitre 5 nous serviront de bases pour décrire la relation entre la ville de Montréal et l'IoT. Nous avons reçu la coopération des membres du bureau de la VI de Montréal pour comprendre le fonctionnement des projets. Les positions occupées par les 3 experts sont : Directeur du bureau de la Ville Intelligente et numérique, Chargé d'expertise et de pratique – Gouvernance TI et partenariat et Conseiller planification – données ouvertes.

In Fine, cela nous donnera des indications sur un cas précis de ville intelligente et sur son fonctionnement, nous permettant de raffiner notre modèle théorique.

#### 6.1 Ville de Montréal

La ville de Montréal est la deuxième ville la plus peuplée du Canada derrière Toronto et la première ville de la province du Québec. La ville elle-même compte 1,7 million d'habitants, mais s'inscrit dans une région métropolitaine de plus de 4 millions d'habitants (Statistique Canada<sup>17</sup>).

---

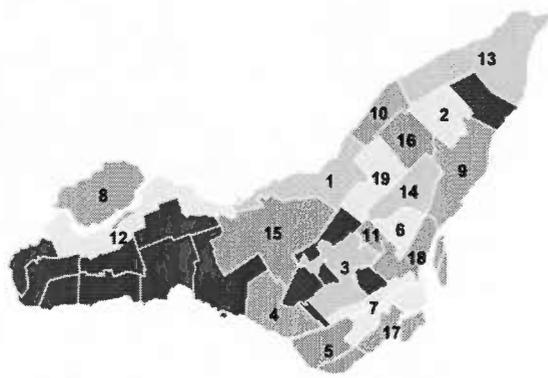
<sup>17</sup>Statistiques Canada. (2017). *Profil du recensement, Recensement de 2016*. Récupéré de : <http://www12.statcan.gc.ca/census-recensement/2016/dp-pd/prof/details/page.cfm?Lang=F&Geo1=CSD&Code1=2466023&Geo2=CMACA&Code2=462&Data=Count>

Ce simple premier constat illustre les enjeux de la ville intelligente : avec une majorité d'individus vivant à l'extérieur de la ville géographique, les décisions vont impacter une région entière. C'est pour cette raison qu'il convient d'expliquer la situation de la ville de Montréal.

### 6.1.1 Situation de la ville

Montréal est composée de dix-neuf arrondissements de tailles et de populations différentes (Tableau 6.1) avec à la tête de chaque arrondissement un maire et une administration.

Tableau 6.1 Carte des arrondissements de Montréal

1 Ahuntsic-Cartierville	
2 Anjou	
3 Côte-des-Neiges-Notre-Dame-de-Grâce	
4 Lachine	
5 LaSalle	
6 Le Plateau-Mont-Royal	
7 Le Sud-Ouest	
8 L'Île-Bizard-Sainte-Genève	
9 Mercier-Hochelaga-Maisonneuve	
10 Montréal-Nord	
11 Outremont	
12 Pierrefonds-Roxboro	
13 Rivière-des-Prairies-Pointe-aux-Trembles	
14 Rosemont-La Petite-Patrie	
15 Saint-Laurent	
16 Saint-Léonard	
17 Verdun	
18 Ville-Marie	
19 Villeray-Saint-Michel-Parc-Extension	

Les conseils d'arrondissement assument selon la charte de la ville de Montréal les pouvoirs de portée locale dans huit domaines : urbanisme, enlèvement des matières résiduelles, culture, loisirs, développement social et communautaire, parcs, voirie, habitation, ressources humaines, prévention en matière d'incendie, tarification non fiscale et gestion financière.

Le 21 septembre 2017, Montréal a obtenu le statut de métropole lui donnant une autonomie accrue par rapport à d'autres villes. C'est la mairie de Montréal et son administration qui gère la métropole de Montréal.

Il est à noter que dans le cadre de cette recherche, la promotion de la ville intelligente a été assurée de 2013 à 2017 par l'administration Denis Coderre. La majorité des informations recueillies ne tiendront pas compte de l'élection en novembre d'une nouvelle mairesse, Valérie Plante, ainsi que d'une nouvelle administration impliquant une nouvelle politique. Néanmoins, cela interroge sur l'avenir face à l'incertitude liée à des changements d'administration dans les projets de villes intelligentes.

Par conséquent, la situation de la ville de Montréal dans les questions de VI ne se limite pas aux frontières de la ville. Plusieurs couches administratives et productrices de données s'entremêlent. Les experts ont insistés surtout en « matière de transport une série d'entité peut intervenir ». La figure 6.1 a été réalisé à partir de discussions avec les membres du bureau de la ville intelligente sur l'exemple sur un exemple hypothétique d'installer des capteurs sur un pont de train à Montréal. Ce projet touche dans un premier l'arrondissement où va être installé le capteur et indirectement l'échelon supérieur la ville. De plus, la question du transport fait partie des politiques publiques du gouvernement de Québec donc il aura surement son mot à dire. Et finalement la ligne qui passe sur le pont appartient peut être à ViaRail ce qui va toucher le gouvernement canadien. On voit ainsi l'intrication qu'il peut exister à partir d'un projet simple de déposer un capteur sur un pont. Un échange des données entre ces différentes strates est requis afin de permettre la réalisation de nouveaux services pour les citoyens.

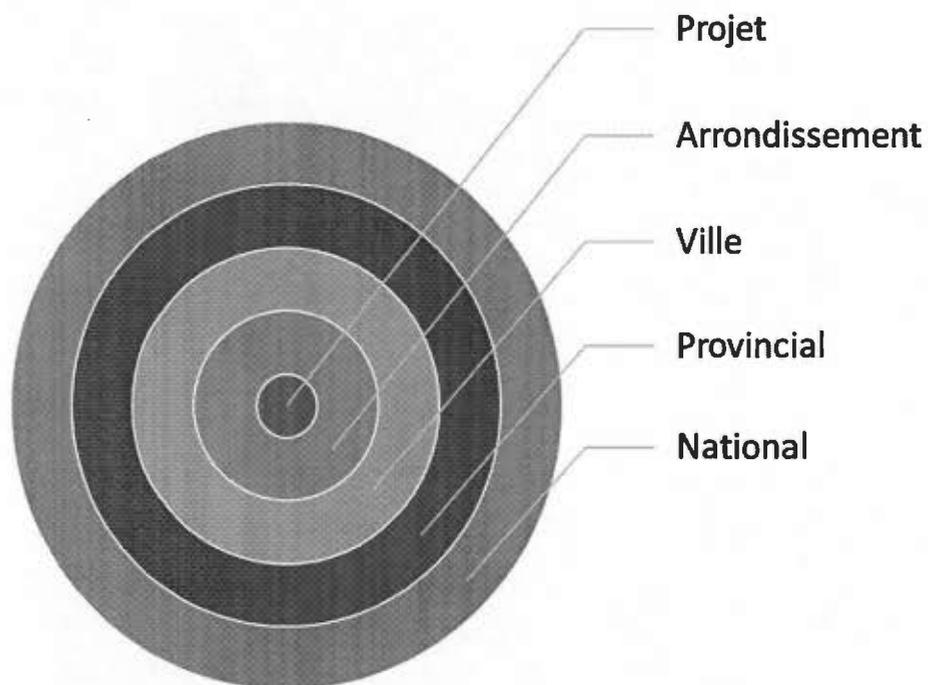
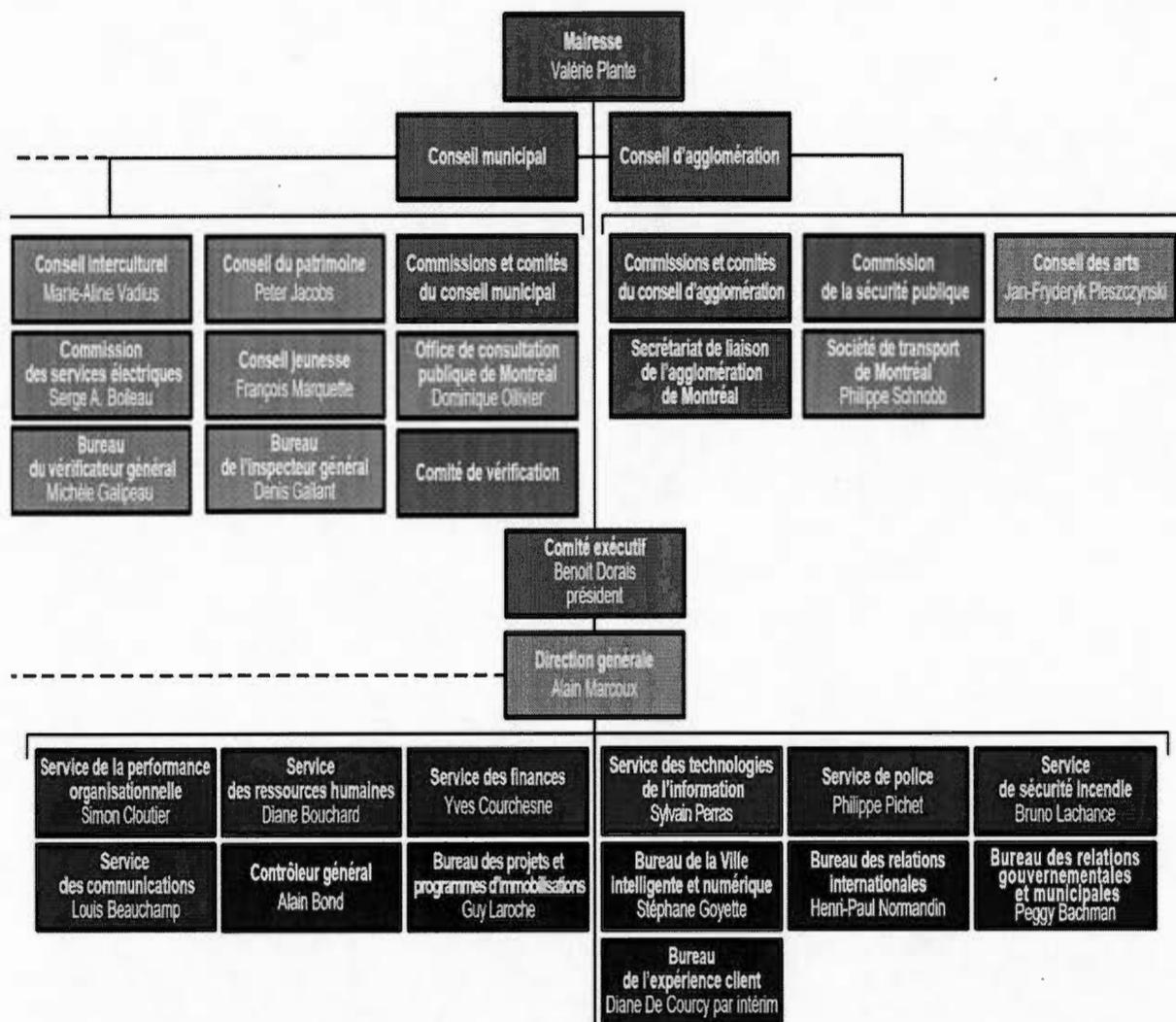


Figure 6.1 Strate gouvernementale pouvant impacter un projet de VI

Une organisation est nécessaire pour gérer toutes ses relations qui sont complexes.

### 6.1.2 Organisation de la ville intelligente

L'organisation de la ville de Montréal pour soutenir ses projets de VI se retrouve dans l'organigramme municipal à date du 16 novembre 2017 (Annexe D). L'organigramme simplifié place le Bureau de la Ville Intelligente et numérique (Figure 6.2) sous la direction du service des technologies de l'information.



Aujourd'hui, Stéphane Goyette est en charge de cette politique pour la ville.

Figure 6.2 Organigramme simplifié de la ville de Montréal (16 Nov 2017)

### 6.1.3 Initiative en tant que ville intelligente

Les initiatives en tant que ville intelligente sont accessibles via le portail <http://villeintelligente.montreal.ca/>. Depuis 2013, le portail présente l'avancée des différents projets initiés par la ville. L'accent est particulièrement mis dans le domaine du transport, des infrastructures de communication et le domaine citoyen et société (Figure 6.3)

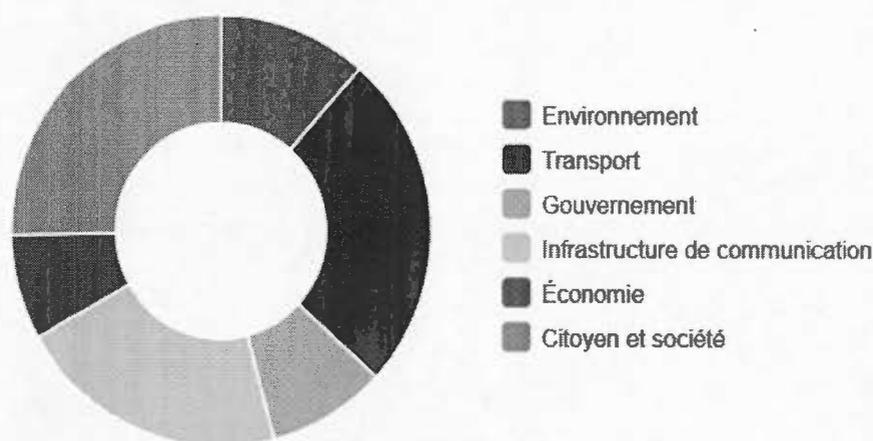


Figure 6.3 Répartition des projets VI initiés par Montréal

Ce portail est au cœur des projets de VI à Montréal avec une volonté de transparence sur les avancées.

À cette transparence, s'ajoute la volonté d'ouverture de données à tous les acteurs (citoyen, industriel, chercheur, étudiant...) dans la VI. Le portail <http://donnees.ville.montreal.qc.ca/> met à disposition les données dont dispose la ville afin de permettre la création de valeurs.

Cette double volonté de transparence et d'ouverture se retrouve également dans la manière de gérer les trois projets que nous avons sélectionnés.

## 6.2 Positionnement de la Ville de Montréal sur la gestion des espaces de stationnement urbain

### 6.2.1 Contexte de la gestion des espaces de stationnement urbain à Montréal

La gestion des espaces de stationnement dépend de Stationnement Montréal qui est une société en commandite formée par la Chambre de commerce du Montréal métropolitain. En 2017, l'entité gère 18644 places, 1442 bornes et 34 terrains de stationnement.

Le lien entre Stationnement Montréal et la ville de Montréal est limité, car la ville n'a pas de place dans le conseil d'administration de la société en commandite. L'unique obligation est le versement, annuellement, d'une partie des bénéfices issue de la collecte de procès-verbaux par les agents de stationnement Montréal.

Depuis 2015, ce statut de société en commandite est amené à évoluer pour permettre une collaboration accrue entre la ville et la société (la décision de la future structure n'a pas encore été rendue publique).

L'autre aspect à prendre en compte lorsqu'on parle du contexte est les caractéristiques géographiques et climatiques de la ville. En effet, la ville se situe dans une région avec des hivers neigeux. Cela a pour conséquence la nécessité d'utiliser des déneigeuses pour la chaussée ce qui va impacter les possibilités des choix technologies dans les solutions pour ce projet.

De plus, ces conditions fatiguent la chaussée conduisant souvent à la réalisation de travaux de réfection de la voirie (la ville a construit ou réhabilité environ 600km de chaussée entre 2016 et 2017). La gestion des espaces de stationnement urbain à Montréal devra tenir compte de ces aléas lorsqu'il s'agira d'élaborer les solutions pour la ville intelligente.

## 6.2.2 Positionnement de Montréal pour la gestion des espaces de stationnement urbain

Pour positionner Montréal dans notre modèle, il convient d'observer les solutions qui sont aujourd'hui en place.

Chaque 2-espaces de stationnement est identifié par un panneau indiquant une zone (lettres) et un numéro de place (numéros) ainsi que les périodes de stationnement tarifées (figure 6.4).



Figure 6.4 Panonceau de stationnement à Montréal

Ce numéro d'identification doit être inscrit lors du paiement sur une borne de paiement Payer-Partez (Pay and Go) (Figure 6.5). L'utilisateur après s'être acquitté du paiement reçoit un ticket avec une échéance de fin. La donnée est enregistrée et informatisée.



Figure 6.5 Borne de paiement Payez-Partez à Montréal

Depuis 2012, une solution complémentaire de paiement, par téléphone intelligent ou ordinateur, a été mise en place par l'intermédiaire de l'application P \$ Service. Le paiement se déroule en 4 étapes (Figure 6.6) : création et connexion du compte, identification de la place, durée de stationnement, reçu électronique.



Figure 6.6 Étapes d'utilisation de l'application P \$ Service

Cela permet une remontée plus rapide en quasi-temps réel des paiements des espaces de stationnement.

À partir de ces deux solutions, nous pouvons peupler notre modèle de coévolution (Tableau 6.2 et Tableau 6.3). D'une part, la solution Payez-Partez (Tableau 6.2) se positionne de la façon suivante :

Tableau 6.2 Positionnement de la solution Payez-Partez

Caractéristiques des processus/services dans la VI	Utilisation des technologies de l'IoT	Exemple de technologie facilitatrice du niveau
1. Niveau d'intervention humaine requis : dépendante de l'utilisateur (Payez-Partez pour payer son espace de stationnement générant un ticket)	i. Fonctionnalité principale utilisée : capture du paiement de l'utilisateur par l'horodateur (Payez-Partez) et centralisation de celle-ci	a) Capture de données : Horodateur Payer-Partez
2. Gestion de la donnée par l'humain : Utilisateur dispose d'un reçu papier	ii. Gestion de la donnée par la technologie : la donnée est sauvegardée dans une base de données accessible à distance	b) Communication des données : internet mobile (3G, 4G)
3. Type de données : digital, enregistré dans une base centralisée, conforme au moment du paiement	iii. Portée de la technologie : longue distance pour la centralisation	c) Entreposage des données : localisé (par horodateur), centralisé (remonté des données des horodateurs)
4. Fréquence de mise à jour : mise à jour ponctuelle selon le paiement de l'usager	iv. Qualité de la donnée : Payer-Partez : simple donnée durée et place de stationnement	d) Traitement des données-transactions : stockage dans serveur
5. Accès à l'information: opt-out actif		e) Analyse des données : aucune f) Disponibilité des données : site internet, application mobile

D'après ce modèle, cette solution correspond à un niveau 2 Automatisation. Les données enregistrées dans le parcmètre sont automatiquement remontées dans une base de données centralisée. Cela permet par la suite au gestionnaire d'avoir un état de l'occupation payée des espaces de stationnement sans impression de ticket.

Et d'autre part, la solution P\$ service (Tableau 6.3) se positionne de la façon suivante :

Tableau 6.3 Positionnement de la solution P\$ Service

Caractéristiques des processus/services dans la VI	Utilisation des technologies de l'IoT	Exemple de technologie facilitatrice du niveau
<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Niveau d'intervention humaine requis : faiblement dépendante de l'utilisateur (crée un profil sur P \$ Service puis paye à distance)</li> <li>2. Gestion de la donnée par l'humain : Utilisateur dispose d'un reçu électronique de son paiement</li> <li>3. Type de données : digital, enregistré dans une base centralisée, conforme au moment du paiement</li> <li>4. Fréquence de mise à jour : mise à jour ponctuelle selon le paiement de l'usager</li> <li>5. Accès à l'information: opt-out actif par P \$ Service</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>i. Fonctionnalité principale utilisée : capture du paiement de l'utilisateur par l'horodateur virtuel ( P \$ Service) et centralisation de celle-ci</li> <li>ii. Gestion de la donnée par la technologie : la donnée est sauvegardée dans une base de données accessible à distance</li> <li>iii. Portée de la technologie : longue distance pour la centralisation</li> <li>iv. Qualité de la donnée : P \$ Service : information plus personnalisée par le profil utilisateur</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>a) Capture de données : smartphone, application P \$ Service</li> <li>b) Communication des données : internet mobile (3G, 4G)</li> <li>c) Entreposage des données : centralisé (remonté des données des horodateurs)</li> <li>d) Traitement des données-transactions : stockage dans serveur</li> <li>e) Analyse des données : aucune</li> <li>f) Disponibilité des données : site internet, application mobile</li> </ol>

D'après ce modèle, cette solution correspond également à un niveau 2 Automatisation, car l'utilisateur est toujours l'initiateur du service sans reconnaissance automatique du véhicule. Néanmoins, il s'agit d'une amélioration du service de base Payez-Partez avec la possibilité du paiement à distance à tout moment par l'automobiliste. Selon notre matrice de coévolution, la situation de Montréal pour la gestion des espaces de stationnement urbains correspond à un niveau 2, Automatisation. Les deux solutions en place sont plus complémentaires qu'un changement de niveau dans la coévolution entre la VI et l'IoT. L'automobiliste a deux possibilités de paiements soit sur une borne Payez-Partez soit par l'application P \$ Service. Dans les deux cas, la donnée de paiement est centralisée.

### 6.2.3 Trajectoire d'évolution pour la gestion des espaces de stationnement à Montréal

La connaissance de l'état actuel et les discussions avec des responsables du bureau de la VI à Montréal nous permettent de développer des pistes d'évolution quant à la gestion des espaces de stationnement.

Premièrement, la question de la gouvernance est débattue avec l'évolution du statut de Stationnement Montréal. En effet depuis 2015, les deux parties sont en discussion afin de déterminer au mieux un nouveau statut illustrant la volonté commune de Stationnement Montréal et de la ville pour une ville plus intelligente.

Deuxièmement, d'un point technologique et des contraintes que nous avons exprimés précédemment, des tests sont réalisés sur de futures solutions. Par exemple, Stationnement Montréal a testé l'utilisation de pastille LoRa sous la chaussée afin d'identifier un véhicule sur un espace de stationnement. Cette solution s'est avérée peu concluante par Stationnement Montréal avec une préférence maintenant pour des solutions de caméra et radar. L'exemple de la ville voisine de Westmount du Pay-by-Plate illustre les trajectoires pour la gestion des espaces de stationnement urbain.

En effet, ce type de solution présente l'avantage de « limiter l'intervention sur la chaussée », selon Stéphane Guidoin, chargé de projet au sein du bureau de la ville intelligente. Cette condition est spécifique au contexte de la ville de Montréal où régulièrement des travaux de réfection de chaussée sont réalisés.

En outre, les retours d'expérience d'autres industries et la veille technologique peuvent également servir à l'élaboration de futures solutions. C'est dans cette perspective que les chercheurs du Laboratoire IdO de l'ESG UQAM évaluent le design de solutions innovantes de type best of breed ; qui consiste à intégrer des technologies de différents fournisseurs afin de choisir les solutions les plus satisfaisantes en fonction des différents cas d'études.

Dans le cas de la gestion des espaces de stationnement à Montréal, lors d'une conférence organisée par le VDR de l'ESG en octobre 2017, les chercheurs ont présenté les modèles actuels et les modèles anticipés (Bendavid et al., 2017). Par exemple, actuellement, face à la complexité de compréhension des panneaux de stationnement dans les rues de la ville, des applications mobiles ont été mises en place pour aider les citoyens à valider la «légalité» d'un espace (Arcand, 2014; Infopresse, 2015).

Dans un futur proche, il est possible d'envisager l'utilisation de diverses technologies IoT permettront la mise en place de modèles novateurs. Par exemple, lorsqu'un citoyen s'approche d'une zone de stationnement, (1) son téléphone captera (2) le signal d'un beacon positionné sur un panneau (3) et, à l'aide d'une application téléchargeable au préalable, cela indiquera si le stationnement est permis ou non (Figure 6.7). Bien entendu, plusieurs autres designs de solutions sont aussi possibles.

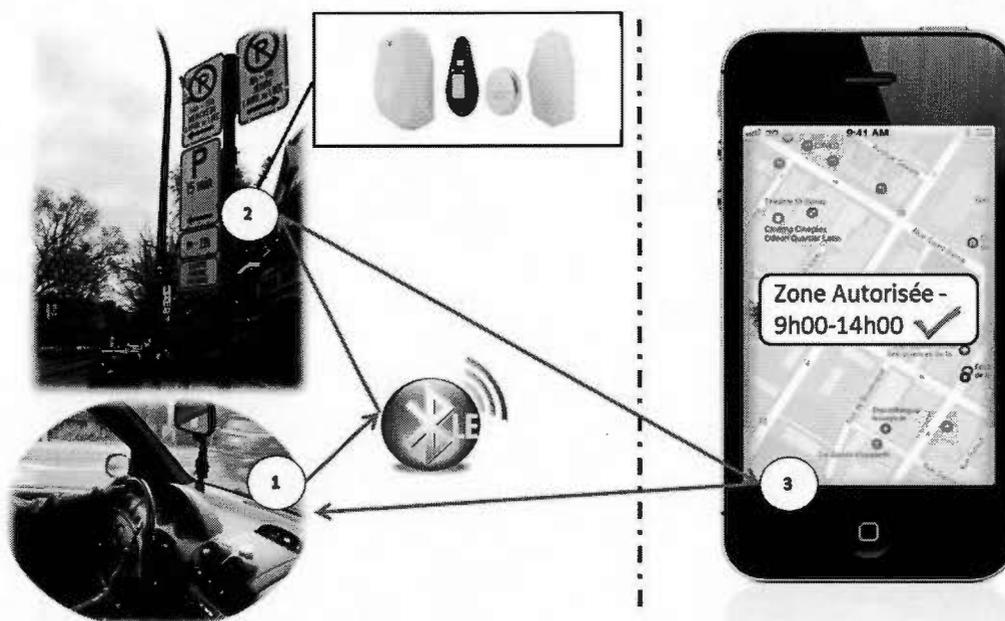


Figure 6.7 Reconnaissance des horaires de stationnement

### 6.3 Positionnement de la Ville de Montréal sur la gestion des horaires de bus

#### 6.3.1 Contexte de la gestion des horaires de bus à Montréal

Le transport par bus dans la ville de Montréal est assuré par la Société des Transports de Montréal (STM). La STM est une société parapublique avec la présence de membre de la ville dans le conseil d'administration.

L'enjeu du transport collectif est crucial à Montréal notamment d'un point de vue politique et environnemental. Les principaux chiffres à retenir pour la STM, c'est qu'elle dessert un espace de 500 km<sup>2</sup> et plus de 400 millions de passagers par années. Rien que pour les bus, elle dispose de 1900 véhicules répartis sur 219 lignes de jour et 23 lignes de nuit.

Les déplacements des travailleurs en transport en commun à Montréal sont de 22% avec une part importante pour les bus (Statistique Canada). Il est à noter que c'est l'un des taux les plus élevés au Canada (2<sup>e</sup> après Toronto).

Une bonne connaissance et une bonne gestion des horaires sont une source de satisfaction (à fortiori d'insatisfaction) pour les usagers. Ainsi les technologies de l'IoT peuvent améliorer la transmission d'informations entre les différentes parties prenantes.

En outre, dans un contexte de transport multimodal, la STM gère également le réseau des métros de la ville de Montréal.

#### 6.3.2 Positionnement de Montréal dans la gestion des horaires de bus

Dans la vision politique de rendre la ville de Montréal plus intelligente, la STM y participe également. Il s'agit selon les membres du bureau de la VI du « nerf de la guerre de la mobilité urbaine et des politiques publiques ». La société INIT, prestataire de la solution, est chargée de la mise en place de la solution de tracking

des bus<sup>18</sup>. Une balise GPS est installée sur les bus de la STM afin de les géolocaliser en temps réel.

Le cœur du système est le Mobile-ITCS de INIT qui gère toutes les données provenant des bus (WLAN) à partir de deux centres de contrôle situés à Montréal, selon D'Alimonte (2015) (Figure 6.8).



Figure 6.8 Centre de contrôle pour iBus (photo Jason Magder)

Les données sont affichées en temps réel (Figure 6.9) sur plusieurs supports : (bus, stations et application).

---

<sup>18</sup> Init. (2017). *Montreal, QC/Canada, Improved operations control and real-time passenger information features allow for higher service quality*. Récupéré de : <https://www.initse.com/ende/projects/projects-north-america/montreal-showcase.html>



Figure 6.9 Affichage en station et à bord des bus

Cette solution est en cours de déploiement (accessible en décembre 2017 à partir du site de la STM<sup>19</sup>). Cette solution se positionne de la façon suivante :

Tableau 6.4 Solution iBus en cours d'installation

Caractéristiques des processus/services dans la VI	Utilisation des technologies de l'IoT	Exemple de technologie facilitatrice du niveau
1) Niveau d'intervention humaine requis : aucun	i. Fonctionnalité principale utilisée : géolocalisation temps réel et transmission des estimations de passage	a. Capture de données : appareil de tracking de position (GPS)
2) Gestion de la donnée par l'humain : aucune	ii. Gestion de la donnée par la technologie : capture, transfert, traitement, analyse et actualisation des horaires	b. Communication des données : GPRS
3) Type de données : digital et dynamique	iii. Portée de la technologie : longue portée pour transmettre la position du bus puis pour transmettre les horaires vers les stations	c. Entreposage des données : Mobile-ITCS (INIT)
4) Fréquence de mise à jour : temps réel pour le positionnement du bus et prédictive pour utilisateur	iv. Qualité de la donnée : qualifiée avec la présence en quasi-temps réel de la durée estimée du passage des bus	d. Traitement des données-transactions : Mobile-ITCS (INIT)
5) Accès à l'information: opt-out passif à partir des balises GPS dans les bus		e. Analyse des données : Mobile-ITCS (INIT)
		f. Disponibilité des données : panneau d'affichage, internet fixe et mobile STM, application STM, on-board dans les bus

Dans ce cas-là, nous pouvons déterminer d'après notre matrice (Tableau 6.4) que la solution iBus place la ville de Montréal dans le niveau 3 Dynamique. La remontée en temps réel de la localisation sans action humaine traduit le passage progressif de la gestion des horaires de bus vers le niveau 3.

Néanmoins, un constat est à faire, toutes les stations de Montréal ne sont (seront) pas équipées de panneau d'affichage électronique (26 bornes d'information à des arrêts de bus achalandés et dans 64 édicules de stations de métro).

Nos interlocuteurs lors des entretiens nous ont précisé qu'il « faut prendre en compte qu'une solution globale induit une contrainte de perte de contrôle de chaque segment

<sup>19</sup>STM. (2017). *Bus Service Status*. Récupéré de : <http://beta.stm.info/en>

du projet . » Ainsi malgré une politique affichée de choisir des solutions standardisées la ville peut également faire des choix de solution clé en main.

Pour le moment, les affichages papier sont encore utilisés pour indiquer des horaires ou bien la périodicité de passage de bus pour les stations les moins fréquentées. Cela correspond dans notre modèle au Tableau 6.5 :

Tableau 6.5 Solution classique de gestion des horaires

Caractéristiques des processus/services dans la VI	Utilisation des technologies de l'IoT	Exemple de technologie facilitatrice du niveau
1. Niveau d'intervention humaine requis : fortement dépendante de l'humaine	i. Fonctionnalité principale utilisée : aucune	a) Capture de données : absente
2. Gestion de la donnée par l'humain : temps de passages notés sous forme manuscrite. Puis analyse des données pour création d'un horaire définitif.	ii. Gestion de la donnée par la technologie : aucune	b) Communication des données : absente
3. Type de données : physique et statique	iii. Portée de la technologie : aucune	c) Entreposage des données : Absent
4. Fréquence de mise à jour : peu fréquente (dépend des lignes et des changement de parcours de la STM)	iv. Qualité de la donnée : aucune	d) Traitement des données-transactions : aucune
5. Accès à l'information: en direct		e) Analyse des données : aucune f) Disponibilité des données : absent

D'un point de vue coévolution, cela correspond à niveau 0 ou 1 (si le comptage est réalisé à l'aide d'outils digitaux). L'utilisation de ces deux solutions est nécessaire pour deux raisons. Premièrement, la solution IBus est en cours de déploiement donc il est nécessaire de réaliser des horaires sans une utilisation intensive de l'IoT. Deuxièmement, l'utilisation ponctuelle de comptage manuel permet de calibrer et vérifier les données disponibles à partir de IBus.

Dans une phase de déploiement, il faut pouvoir vérifier qu'avant le passage à grande échelle de la solution, les données récoltées soient valides et conformes à la réalité observée sur le terrain.

### 6.3.3 Trajectoire d'évolution pour la gestion des horaires de bus à Montréal

Nous nous en allons vers des solutions beaucoup plus dynamiques basées sur la demande réelle et la prévision. Ces solutions donneront la possibilité d'optimiser les trajets avec des bus de tailles appropriées selon la demande.

Cela conduit à une réflexion sur les flottes de bus à venir et leur gestion. Il s'agit d'une contrainte avec plusieurs modèles sur la route impliquant d'avoir de nouveaux besoins : nouvelles compétences dans l'entretien, achats de pièces de rechange variées, négociation plus compliquée sur les prix d'achat de bus différents,.... Dans l'idée, cela se rapproche de la vision des flottes dans l'aérien par fournisseur et modèle et de la différence entre prix catalogue et prix du marché (Figure 6.10).

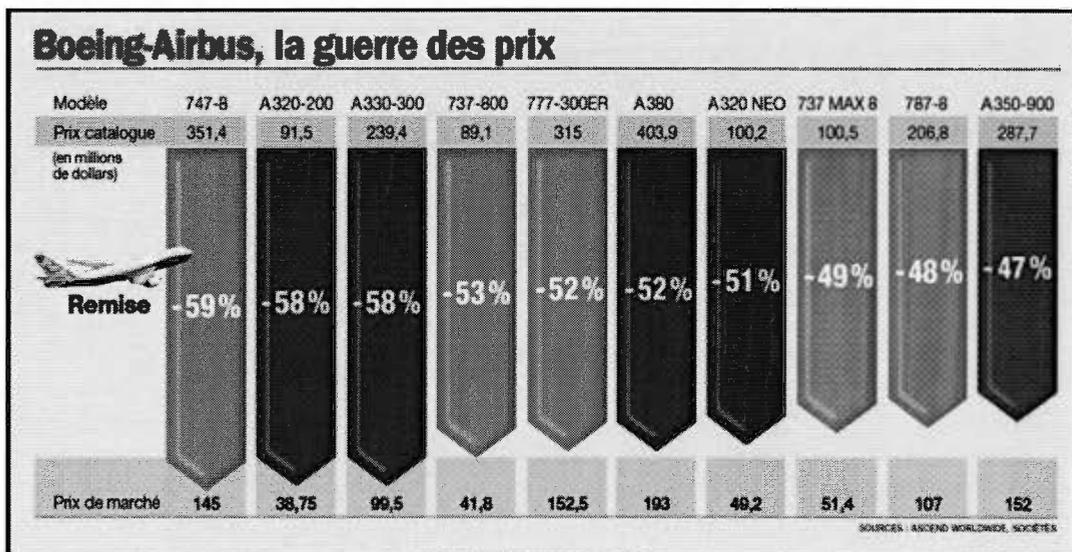


Figure 6.10 Tableau comparatif réalisé par d'Ascend Worldwide (Lamigeon 2013)

L'autre piste d'évolution envisagée à plus long terme par la ville consiste à parler du véhicule autonome. Ces bus autonomes seraient capables selon la demande de générer des parcours dynamiques mais pour cela il faudrait avoir accès à la fréquentation en direct des stations de bus. Cela aurait également de forte conséquence managériale avec la possible suppression de poste peu qualifié dans l'entreprise. Des négociations et des formations liées à l'adoption de futures solutions occuperont une large partie des contraintes.

Cette solution est compliquée d'un point de vue de l'éthique pour la ville de Montréal. L'exploitation de ces données pose problème par rapport à la perception de vie privée des utilisateurs. Néanmoins, il est toujours possible de s'appuyer sur l'expérience des autres, par exemple Vidéotron (pour des objectifs marketing) expérimente des solutions permettant de mesurer l'achalandage d'une station afin de mieux vendre l'espace publicitaire à ses partenaires. Ce sont des pistes qui démocratisent la détection en temps réel pour des solutions futures.

De plus, un autre point intimement relié à l'éthique et qui a été soulevé lors des entretiens c'est le volet sécuritaire de l'utilisation de ces technologies. Il s'agit d'un point essentiel qui d'ailleurs ressort comme l'une des « Top IoT Trends for 2018 » (Newman 2017). Il est toutefois utile de rappeler que la sécurité et la vie privée/l'éthique sont deux concepts différents. Cette question est d'autant plus importante à cause de la multiplication de dispositifs IoT peu onéreux (lampe, capteur, carte RFID, ...) qui vont induire des investissements conséquents sur le volet sécuritaire. Ce volet qui sera de plus en plus difficile à gérer, non uniquement à cause des coûts, mais à cause de la multiplicité des protocoles de communication, des standards technologiques, de la multiplicité des plateformes IoT, de l'encadrement législatif, etc., et qui fait le lien avec les questions de recherche de standard et d'une meilleure gouvernance.

## 6.4 Positionnement de la Ville de Montréal sur la relève de la consommation électrique

### 6.4.1 Contexte de relève de la consommation électrique à Montréal

Nous avons vu dans la revue littérature les six domaines de la VI. Parmi ceux-ci, le Smart Environment intègre les solutions permettant une meilleure utilisation de l'énergie dans la VI.

Néanmoins, dans le cas de la relève de la consommation électrique, les responsables du bureau de la ville intelligente nous ont expliqué que « les prérogatives de la ville de Montréal ne permettent pas la prise de décisions sur Hydro-Québec ». En effet, Hydro-Québec est la société d'état québécoise de production, transport et distribution d'électricité au Québec qui gère la distribution pour la ville de Montréal.

Hydro est une société publique sous la direction du gouvernement de Québec. D'un point de vue décisionnaire, très peu de place est laissée aux municipalités. Plus de 4,2 millions de clients sont abonnés à Hydro-Québec (source 2015<sup>20</sup>) qui sont principalement servis par 62 centrales hydroélectriques produisant environ 37000 MW.

La relation entre Hydro et le gouvernement est importante et les résultats d'Hydro permettent le versement d'importants dividendes utiles au budget (9,2 milliards entre 2010 et 2014). Ceci explique l'attention accordée au développement de technologies permettant de mieux rationaliser les coûts de production et de distributions.

La relève de la consommation est l'étape la plus importante dans la création de valeur puisqu'elle est le miroir des gains à venir pour la compagnie. La ville de Montréal dépend de la distribution d'Hydro-Québec, ce qui nous permet d'étudier le positionnement de la ville en nous basant sur la situation générale du Québec.

---

<sup>20</sup>Hydro-Québec. (2016, 7 mars). *Hydro-Québec améliore sa productivité*. Récupéré de : <http://nouvelles.hydroquebec.com/fr/communiqués-de-presse/993/montreal/>

#### 6.4.2 Positionnement de Montréal pour la relève de la consommation électrique

Des changements ont eu lieu depuis 2013, la société a pour objectif d'installer 3.8 millions de compteurs intelligents (Figure 6.11). Auparavant uniquement des compteurs mécaniques étaient disponibles.

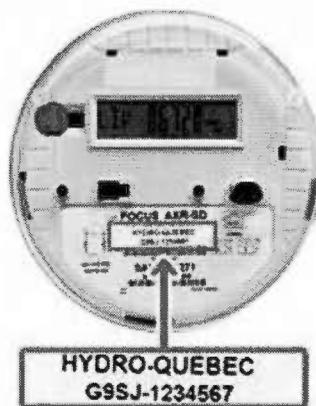


Figure 6.11 Compteur intelligent Hydro-Québec (Gridstream RF LandisGyr)

La remontée de la consommation électrique se fait par un réseau maillé avec des compteurs qui communiquent les uns avec les autres (Figure 6.12). Le fonctionnement du dispositif est expliqué par Hydro-Québec :

« Le compteur a un rôle actif : il enregistre la consommation d'énergie du client et la transmet à un autre compteur, qui la transmet à son tour à un autre compteur, et ainsi de suite, jusqu'à ce que la donnée arrive au routeur.

Le routeur achemine les données à un autre routeur ou directement au collecteur.

Le collecteur fait transiter les données cryptées vers le frontal d'acquisition. Par la suite, les données sont acheminées vers le système de gestion des données de mesurage. Ce grand entrepôt de données fait le lien avec le système de facturation d'Hydro-Québec qui sert à émettre les factures de nos clients. »<sup>21</sup>

<sup>21</sup> Hydro Québec. (date n.c.). *La technologie, Les nouveaux compteurs sont précis, fiables, et ils respectent les normes établies*. Récupéré de : <http://compteurs.hydroquebec.com/la-technologie/>

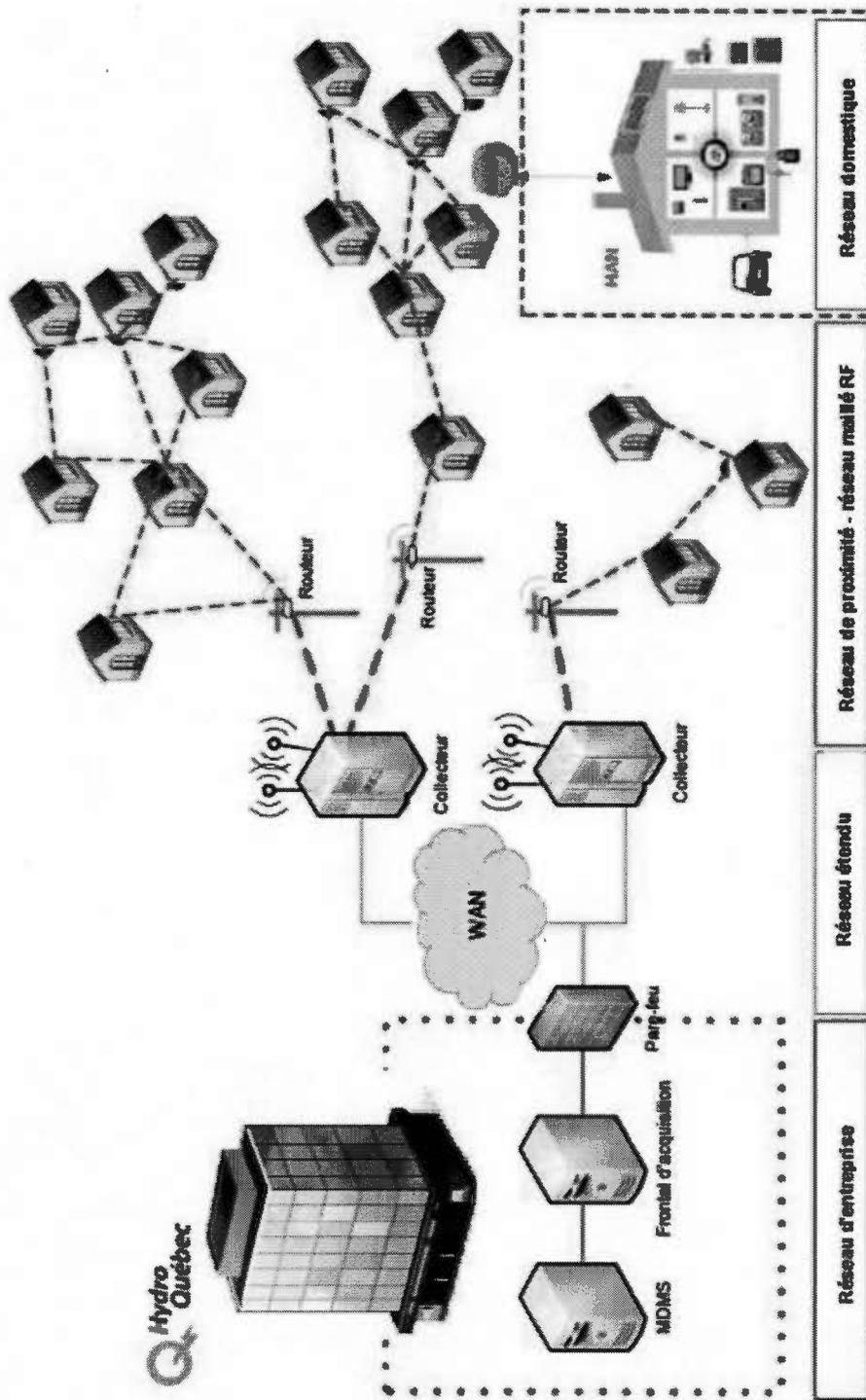


Figure 6.12 Architecture de la lecture à distance d'Hydro-Québec (Perron and Doré (2013))

Les compteurs et routeurs utilisés par Hydro-Québec sont les modèles Gridstream fournis par LandisGyr qui transmet les informations par radiofréquence (902-928 MHz). Les compteurs sont équipés d'une puce Zigbee inactive permettant la communication avec les autres objets communicants du domicile.

L'unique information collectée par ses capteurs est la consommation électrique. La capture de la consommation est faite toutes les 15 minutes et l'envoi vers le système de gestion de données de mesurage toutes les 4 heures. Ces données sont envoyées au Meter Data Management System (MDMS) pour traitement et analyse.

Tableau 6.6 Solution compteur intelligent par Hydro

Caractéristiques des processus/services dans la VI	Utilisation des technologies de l'IoT	Exemple de technologie facilitatrice du niveau
1. Niveau d'intervention humaine requis : aucune	i. Fonctionnalité principale utilisée : capture des données de la consommation	a) Capture de données : compteur intelligent (Gridstream RF)
2. Gestion de la donnée par l'humain : aucun	ii. Gestion de la donnée par la technologie : capture, transfert, traitement et analyse	b) Communication des données : radio fréquence (902-928 MHz)
3. Type de données : digital et statique (mesure toutes les 15 min)	iii. Portée de la technologie : longue distance	c) Entreposage des données : serveur central
4. Fréquence de mise à jour : 6 fois par jour toutes les 4 heures	iv. Qualité de la donnée : comportement de consommation complet d'un logement	d) Traitement des données-transactions : MDMS
5. Accès à l'information : à proximité du compteur		e) Analyse des données : MDMS
		f) Disponibilité des données : facture électronique, site web

D'après ces informations, avec le matériel choisi par Hydro-Québec nous avons une solution « bâtarde » avec le potentiel d'atteindre plusieurs niveaux :

- Niveau 5 Smart Grid : la puce Zigbee installée sur le matériel permettrait le contrôle optimisé d'autres éléments intelligents dans le domicile (chauffage, lumière,...) mais celle-ci n'est pas activée (à ce jour)

- Niveau 4 Dynamique : le matériel utilisé offre des services proches de l'AMI avec la possibilité de capturer des données autres que la consommation. Par exemple Hydro-Québec compte à l'avenir s'en servir pour détecter les pannes de réseau. De plus, il n'y a pas de temps réel dans l'actualisation de l'information (6 remontées par jour).

La solution se situe entre les deux niveaux sans pour autant remplir toutes les caractéristiques (non-temps réel et puce Zigbee non actifs).

Le choix a été fait de réduire le rythme des transferts des mesures et de ne pas activer la technologie Zigbee ce qui fait que d'après notre matrice de coévolution, cette solution ne se situe qu'au niveau Automatisation soit l'AMR (Tableau 6.6).

À noter que l'installation des compteurs nouvelles générations provoque un rejet par certains clients. Le refus d'installation (de l'ordre de 5%) implique encore l'utilisation d'un technicien pour aller relever les compteurs dans les domiciles, ce qui impliquerait un niveau 0 ou 1.

6.4.3 Trajectoire d'évolution de la relève de la consommation électrique à Montréal  
Les pistes d'évolution correspondent à celles évoquées dans le contexte général de la Smart Grid qui sont aujourd'hui difficilement atteignable dans la pratique.

D'un point de vue technologique, la solution du compteur Gridstream RF est aujourd'hui la plus optimale.

Les pistes d'évolution sont à trouver dans l'activation de la puce Zigbee présente sur le modèle.

En effet, cela permettrait une meilleure adéquation entre les ressources disponibles et les besoins exprimés par les clients. Nous pourrions différencier la consommation de chaque appareil électrique du domicile. Cela offre un meilleur suivi pour l'utilisateur. Néanmoins la question des gestions des données sera centrale avec des mouvements citoyens qui s'organisent contre l'adoption de ce type de compteur, cela demandera une décision politique du gouvernement pour rassurer les clients.

## CONCLUSION

Dans cette section finale, nous discuterons de notre version affinée du modèle de coévolution de la VI et de l'IoT résultant de notre recherche.

Nous avons au cours de cette recherche construit notre réflexion autour de l'objectif de développer un modèle structuré de la coévolution de la VI et de l'IoT. Pour ce faire, nous avons dans un premier temps, étudié la littérature afin de poser notre recherche dans le contexte de la VI et de l'IoT (Chapitre 2). Cela nous a permis de voir les modèles d'évolution, à la fois dans la VI et dans l'IoT, développés par les chercheurs et de nous rendre compte du besoin d'un modèle intégré pour comprendre la coévolution.

À partir de là, nous avons articulé notre méthode de recherche autour de l'étude de cas de la Ville de Montréal (Chapitre 3), car cela répond bien au caractère exploratoire de notre démarche.

Une première version préliminaire a été développée à partir des écrits et des rencontres avec des experts que nous avons sélectionnés (Chapitre 4).

Ce modèle préliminaire a été exploité dans le cadre de trois projets dans la VI (gestion des espaces de stationnement urbain, gestion des horaires de bus et relève de l'électricité) dans le Chapitre 5 afin d'effectuer un premier affinage de notre modèle.

Les trois projets nous ont servi de bases pour le cas de la Ville de Montréal (Chapitre 6) afin d'ajuster le modèle dans un contexte réel.

Suite à ces études approfondies, nous arrivons à notre version affinée du modèle de coévolution de la VI et de l'IoT.

L'objectif premier de la recherche est d'identifier et de décrire les niveaux d'évolution dans la VI en fonction de l'IoT. Il devient nécessaire donc de s'arrêter sur une définition des différents niveaux (Figure 7.1).

Pour cela, nous avons proposé un modèle en deux parties. Une première partie qui donne le nom des niveaux ainsi que leur numéro (colonne Niveau de la Figure 7.1). Cette colonne structure la lecture de la matrice puisqu'elle permet de suivre les différents niveaux d'évolution des services de la VI et de l'IoT. En nous appuyant sur les travaux analysés lors de la revue littérature et des retours de nos experts, nous avons pu fixer cinq niveaux d'évolution qui permettent de décrire la relation entre un service dans la VI et des technologies de l'IoT :

- Niveau 0 : Primitif correspond à la réalisation d'un service sans l'intervention des technologies de l'IoT.
- Niveau 1 : Digitalisation correspond au passage d'une donnée accessible mécaniquement à une donnée numérique.
- Niveau 2 : Automatisation correspond à la remontée de la donnée dans le système pour une utilisation à distance.
- Niveau 3 : Dynamique correspond à la possibilité de l'exécution d'un service en temps réel.
- Niveau 4 : Optimisation correspond à l'idée d'ubiquité et de temps réel permettant la réalisation des actions préventives

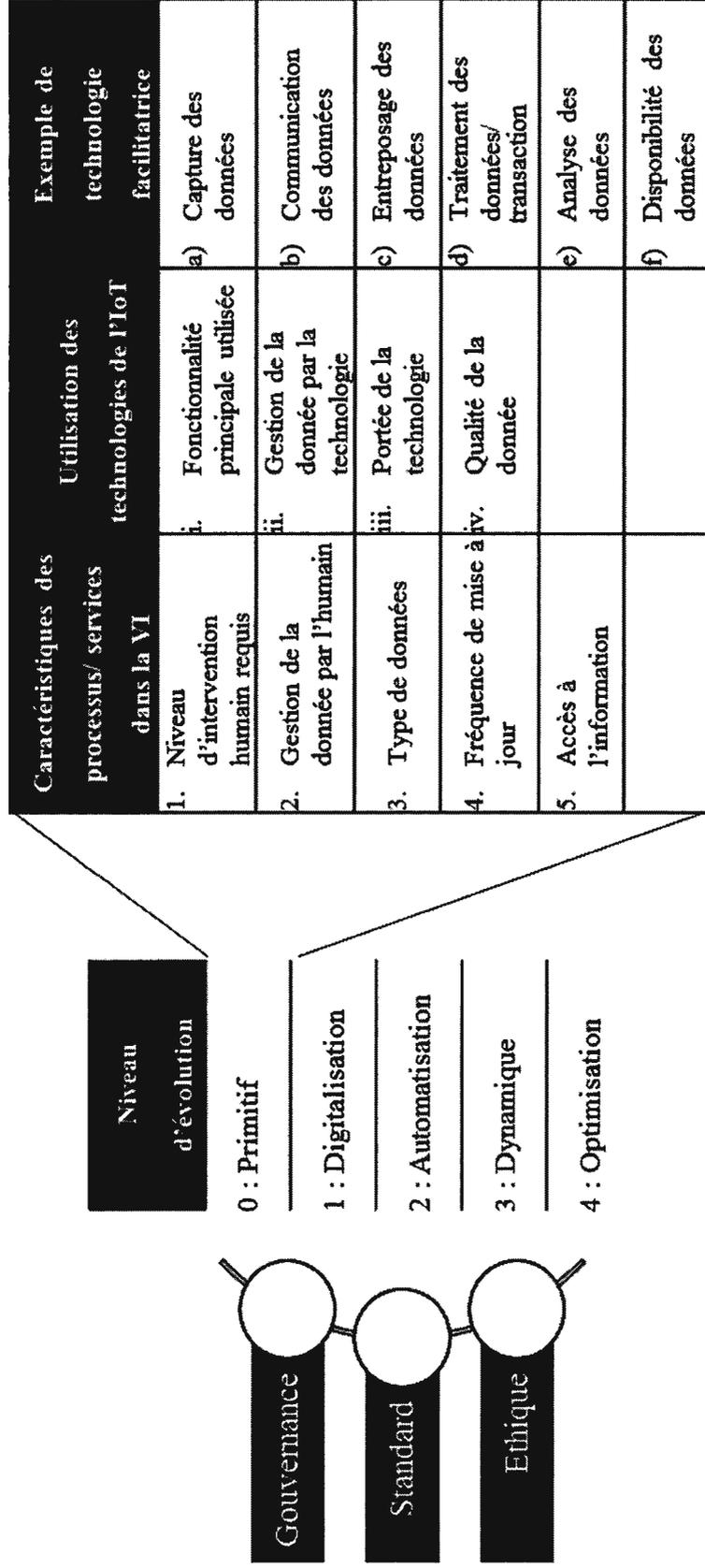


Figure 7.1 Modèle de coévolution de la VI et de l'IoT (affinée)

Chaque niveau d'évolution est associé à une liste de critères regroupés sous trois grandes familles : (1) caractéristiques du service/processus dans la VI, (2) utilisation des technologies de l'IoT, (3) exemples de technologies facilitatrices de l'IoT.

(1) Les caractéristiques du service/processus dans la VI correspond à l'évolution du service dans les projets. Nous avons sélectionné cinq critères :

- Niveau d'intervention humaine requis : description de la dépendance de l'humain dans la réalisation du service. Ce critère permet d'avoir un suivi de l'implication humaine, qui pourra être comparé avec l'implication des technologies de l'IoT, dans les niveaux d'évolution.
- Gestion de la donnée par l'humain : description du rôle de l'humain avec les données produites (capture, transfert, traitement, analyse et action).
- Type de données : qualification de la donnée produite par le service. Les règles pour ce critère sont la forme de la production de la donnée (physique/digitale) et la manière de mise à jour (statique/dynamique)
- Fréquence de mise à jour : périodicité des mises à jour
- Accès à l'information: description de la manière dont la donnée est récoltée. Plusieurs cas de figure : en direct (physiquement accessible), push (l'individu/utilisateur choisit d'envoyer la donnée), opt-out actif (l'individu/utilisateur autorise l'envoi de la donnée automatiquement), opt-out passif (la donnée est envoyée sans autorisation préalable)

(2) L'utilisation des technologies de l'IoT correspond à l'évolution de l'IoT dans les projets. Nous avons sélectionné quatre critères :

- Fonctionnalité principale utilisée : description du rôle le plus important de la technologie IoT dans la réalisation du service.

- Gestion de la donnée par la technologie : description du rôle de la technologie IoT avec les données produites (capture, transfert, traitement, analyse et action). Ce critère fonctionne en parallèle avec le critère gestion de la donnée par l'humain pour montrer l'évolution entre chaque niveau.
- Portée de la technologie : distance de travail nécessaire pour la réalisation du service. Ce critère décrit les besoins d'outils de communication courte, moyenne ou longue distance dans un des processus du service ou leur absence.
- Qualité de la donnée : degrés de raffinement des données passant par les technologies de l'IoT allant d'une donnée brute aux résultats d'une réflexion complexe.

(3) Les exemples de technologies facilitatrices de l'IoT visent les technologies de soutien à l'évolution dans la VI. Nous avons sélectionné six critères :

- Capture des données : quelle technologie de capture de données est utilisée dans ce niveau ?
- Communication des données : quel protocole de communication de données est utilisé dans ce niveau ?
- Entreposage des données : quels types de stockage de données est utilisé dans ce niveau ?
- Traitement des données/transactions : quelles technologies de traitement des données sont utilisées dans ce niveau ?
- Analyse des données : quelles technologies d'analyse de données sont utilisées dans ce niveau ?
- Disponibilité des données : de quelle manière peut-on retrouver les données produites dans ce niveau ?

Les trois projets étudiés illustrent les cinq niveaux que nous avons sélectionnés et répondent bien à l'idée d'évolution d'un service dans la VI.

L'étude de cas de la coévolution de la VI et de l'IoT, nous a permis de mettre de nouveaux facteurs spécifiques aux projets de VI illustrant la relation entre les deux phénomènes.

Cela est illustré dans le Tableau 7.1 par les trois dimensions transversales : (a) la gouvernance, (b) la recherche de standard et (c) l'éthique. Ces trois dimensions jouent un rôle important quant à l'évolution d'un service dans la VI et du choix d'une technologie à déployer.

(a) La gouvernance

Une définition extraite de l'équipe Persective monde de l'université de Sherbrooke définit la gouvernance « dans le cadre des sociétés démocratiques [comme] un concept qui permet enfin de mieux comprendre les relations générales entre les acteurs de la société politique et ceux de la société civile ».

Ce terme de gouvernance est un des éléments qui organise la gestion de la VI. Au sein même de la ville de Montréal nous avons eu à rencontrer un chargé d'expertise et de pratique (Gouvernance TI et partenariat), M. Ferron, au sein du bureau de la VI.

L'implication de parties prenantes publiques, parapubliques, privées ou citoyennes dans les projets conduit à un questionnement sur la gouvernance des projets (Viale Pereira, Cunha, Lampoltshammer, Parycek, & Testa, 2017). Les organismes publics qui promeuvent des villes plus intelligentes doivent ainsi entendre toutes les voix et faire propager les connaissances (Hammad & Ludlow, 2016; Langevin & Merveille, 2017).

Sur les trois projets sélectionnés dans la recherche, nous observons que la principale partie prenante n'est pas directement la ville de Montréal (Tableau 7.1).

Tableau 7.1 Principale partie prenante dans le cas de Montréal

Nom	Statut
Société de transport de Montréal (STM)	Paramunicipale
Stationnement Montréal (SM)	Société en commandite (CMM)
Hydro-Québec	Société d'État (gouvernement du Québec)

Cela illustre les enjeux de la gouvernance lorsque nous étudions l'évolution dans les VI.

Les politiques d'ouverture de données participent à ce nouveau modèle de gouvernance (en cours de définition) favorisant la réalisation et la création de nouveaux services dans la ville. Les portails de partage de données vont dans ce sens.

(b) Le standard :

La recherche de standard dans les solutions mises en place de la VI constitue un enjeu quant à la pérennité des projets. Cette politique de recherche de standard s'explique par le fait qu'il y ait « beaucoup de lock in dans l'IoT », selon M. Ferron. Les implications de la sélection une technologie vont impacter les futures décisions. En effet, notre recherche a montré que la coévolution des services d'une ville et des technologies de l'IoT est réelle, mais demande du temps à se perfectionner. Or le temps municipal et le temps d'évolution des technologies ne sont pas les mêmes. Ce décalage impacte la stratégie des appels d'offres dans le choix des technologies avec une gestion du risque liée aux changements technologiques futurs. M. Lozeau, conseiller planification – données ouvertes, précise qu'il faut tenir compte de la capacité des citoyens à adopter les technologies mises en place et que si « cela ne

change pas les patterns des utilisateurs » il existe un risque d'échec, comme l'exemple de la ville de Nice. La limitation aux technologies standards constitue un facteur discriminant quant aux possibilités offertes par des solutions propriétaires mais aussi un facteur sécuritaire quant à la pérennité des futures évolutions.

(c) L'éthique :

La question éthique insiste sur l'accompagnement de l'innovation couplé à la protection des données et des libertés individuelles en contexte urbain (CNIL, 2017). Les gestionnaires des villes restent prudents quant à l'utilisation des données produites dans la VI avec le sujet central de l'anonymisation des données récoltées et exploitées.

Par exemple, M. Robert, directeur technologique Quartier des Spectacles, insiste sur le fait qu' « en tant qu'organisme public, il est essentiel de maintenir les données collectées comme anonyme ». Ainsi lorsqu'il a été question d'étudier le passage des piétons, la solution de collecter des données des téléphones mobiles a été écartée pour préférer une solution par caméra de sécurité plus « anonymisante ».

De cela ressort l'importance de comprendre le rôle croissant de la sécurité dont doivent faire preuve les villes dans le déploiement de solutions intelligentes. C'est une question sous-jacente à tous les projets TI et nous les voyons apparaître dans les tendances experts (Newman 2017). Les implications ne seront pas seulement éthiques mais pourront aussi avoir des répercussions électorales. Ainsi c'est pour cette raison que la sécurité, voire l' « extrême sécurité », selon nos experts, la rapidité d'adoption des projets de VI.

Nous savons qu'ils existent des limites à notre recherche à partir du moment où nous avons sélectionné l'étude de cas. En nous basant sur le cas unique d'une ville, Montréal (Chapitre 6), la généralisation des phénomènes peut être compliquée. C'est pour cette raison que nous avons souhaité également affiner notre modèle à l'aide d'une partie distincte des trois projets (Chapitre 5).

En outre, nous avons choisi d'étudier trois projets spécifiques (gestion horaire de bus, gestion espace de stationnements urbains, relève de la consommation électrique) qui ont des gouvernances particulières comme nous avons pu le voir. Nous devons en tenir compte dans les limites de notre recherche.

Enfin, il convient de faire un rappel sur la situation mouvante des politiques dans la VI, de l'évolution des technologies IoT et de l'acceptation de ce type de solution par les parties prenantes (citoyen, élu, entreprise). L'étude s'ancre dans une période précise dans un contexte de lancement de nouveau projet avec un risque d'échec conduisant à des choix spécifiques également.

Dans de ce contexte, il est intéressant de regarder des exemples de villes prometteuses comme Dijon qui serait « en passe de devenir la première vraie Smart City française » (Sourriseau 2018). Il s'agit là de l'un des points qui a été soulevé lors de la conférence AIM 2018<sup>22</sup> où je présentais un article synthèse de ce mémoire (Katundi & Bendavid 2018).

En résumant le cheminement de la recherche nous rendons compte que seulement une petite partie de la compréhension de la coévolution de la VI et de l'IoT a été identifiée. Nous voulions rapprocher les deux concepts afin de mieux les comprendre et de voir les relations qui peuvent exister. Nous sommes partis initialement sur un sujet qui présentait de fortes questions technologiques (avec de nouveaux objets communicants, de nouveaux protocoles de communications, de nouveaux outils d'analyses,...) mais qui au final contient également beaucoup de questions liées aux sciences sociales et humaines (avec les questions sur l'éthique, managériales, ...). Selon nous, il s'agit d'un aspect plutôt inattendu de l'étude et dont il faudra tenir compte lors de recherches futures.

Dans des recherches futures, nous pourrions développer notre réflexion sur cette coévolution. En effet si le modèle présenté dans ce mémoire permet de positionner les

---

<sup>22</sup> <https://aim2018.sciencesconf.org/>

services dans un VI, il ne questionne pas les éléments facilitateurs à la transition d'un niveau à un autre. Il serait donc pertinent d'explorer les éléments qui permettraient de faciliter l'évolution dans un VI.

De plus parmi les contributions majeures, nous retrouvons la gouvernance. Une étude sur l'impact de la gouvernance dans les projets : Nous avons vu que la structure organisationnelle pour des projets touchant la ville intelligente varie. Cela nous amène à nous poser des questions sur le statut des structures administrant les projets de VI (parapublique, commandite, publique, privée...).

## BIBLIOGRAPHIE

- Al-Fuqaha, A., Guizani, M., Mohammadi, M., Aledhari, M., & Ayyash, M. (2015). Internet of Things: A Survey on Enabling Technologies, Protocols, and Applications. *IEEE Communications Surveys & Tutorials*, 17 (4), 2347-2376. <https://doi.org/10.1109/COMST.2015.2444095>
- 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>
- Ananian, P., Paulhiac, F., & Lachapelle, U. (2017, novembre). Co-construction d'un agenda de recherche stratégique sur les espaces de coworking et les enjeux urbanistiques à Montréal. Communication donnée lors de la présentation des lauréats de l'appel à projets "Ville intelligente et durable" à l'Université du Québec à Montréal (UQAM), Montréal.
- Anthopoulos, L. G. (2015). Understanding the smart city domain: A literature review. Dans *Transforming city governments for successful smart cities*. Springer, 9-21
- Arcand, D (2014). Une appli géniale qui comprend les panneaux de parking. La Presse. Récupéré de: <http://blogues.lapresse.ca/monvolant/auto/2014/12/01/contraventions-cheres-mais-application-gratuite/>
- Ashton, K. (2009, 22 juin). That 'Internet of Things' Thing. *rfdjournal.com*. Récupéré de <http://www.rfdjournal.com/articles/view?4986>
- Bakici, T., Almirall, E., & Wareham, J. (2013). A smart city initiative: the case of Barcelona. *Journal of the Knowledge Economy*, 4 (2), 135-148. <https://doi.org/10.1007/s13132-012-0084-9>
- Banners. (2017). Solutions sans fil pour le Stationnement Intelligent. Récupéré de: <http://www.turckbanner.fr/SolutionssansfilpourlestationnementintelligentFRF190.pdf>
- Barney, J. (1991). Firm resources and sustained competitive advantage. *Journal of management*, 17 (1), 99-120.
- Batty, M. (1990). Intelligent cities: using information networks to gain competitive advantage. *Environment and Planning-Part B: Planning and Design*, 17, 247-256.
- Batty, M. (2012). Smart cities, big data. *Environment and Planning-Part B: Planning and Design*, 39(2), 191. <https://doi.org/10.1068/b3902ed>

- Batty, M. (2013). We Make Our Technologies and Then They Make Us. *Environment and Planning B: Planning and Design*, 40(5), 761-762. <https://doi.org/10.1068/b4005ed>
- Batty, M., Axhausen, K. W., Giannotti, F., Pozdnoukhov, A., Bazzani, A., Wachowicz, M., Portugali, Y. (2012, november). Smart cities of the future. *The European Physical Journal Special Topics*, 214(1), 481-518. <http://dx.doi.org/10.1140/epjst/e2012-01703-3>
- Beauchamp, G., & Parkinson, J. (2005). Beyond the wow factor: developing interactivity with the interactive whiteboard. *School Science Review*, 86(316), 97-103.
- Bendavid Y., Cassivi L., Katundi E., Bendif S.A. (2017). Analyse de la co-évolution de l'Internet des Objets et des villes intelligentes, Communication donnée lors de la présentation des lauréats de l'appel à projets "Ville intelligente et durable" à l'Université du Québec à Montréal (UQAM), Montréal
- Bendavid, Y., Fosso Wamba, S., & Barjis, J. (2013). Special Issue on RFID - Towards Ubiquitous Computing and the Web of Things. *Journal of Theoretical and Applied Electronic Commerce Research*, 8(2), III-XI. <http://doi.org/10.4067/S0718-18762013000200008>
- Benevolo, C., Dameri, R. P., et D'Auria, B. (2016). Smart Mobility in Smart City: action taxonomy, ICT intensity and public benefits. Dans: Torre T., Braccini A., Spinelli R. (eds) *Empowering Organizations. Information Systems and Organisation*, 11. Springer. 13-28 [https://doi.org/10.1007/978-3-319-23784-8\\_2](https://doi.org/10.1007/978-3-319-23784-8_2)
- Caleaccess. (date n.c.). Who we are, Our Story. Récupéré de: <https://www.caleaccess.com/en/who-we-are-our-story>
- Caragliu, A., Del Bo, C., & Nijkamp, P. (2011). Smart Cities in Europe. *Journal of Urban Technology*, 18 (2), 65-82. <https://doi.org/10.1080/10630732.2011.601117>
- Carrière, D., & Faure, L. (Producteur). (2015). Édifice net zéro. [Reportage enquête]. Radio-Canada. Récupéré de <http://ici.radio-canada.ca/tele/decouverte/2015-2016/segments/reportage/3145/edifice-net-zero>
- Castells, M. (1989). *The Informational City: Economic Restructuring and Urban Development*. Wiley-Blackwell.
- Chang, S-Y., Li, D-C., & Chen, T-L. (2010, 1 septembre). Using an electronic product code network to improve monitoring systems for continuous operating equipment — a thermal power plant example. *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part B: Journal of Engineering Manufacture*, 224 (9), 1437-1445. Récupéré de: <http://journals.sagepub.com/doi/abs/10.1243/09544054JEM1806>
- Chen, T. (2011). Smart Grids, Smart Cities Need Better Networks. *IEEE Network*, 24 (2), 2-3. <https://doi.org/10.1109/MNET.2010.5430136>

- Choo, C. W. (1997). "IT2000: Singapore's Vision of an Intelligent Island". Dans *Intelligent environment*, sous la dir. de Peter Droege (Ed.), 49-65. Toronto: North Holland. <https://doi.org/10.1016/B978-044482332-8/50006-8>
- Cisco (2016). Internet of Things (IoT). Récupéré de <http://www.cisco.com/c/en/us/solutions/internet-of-things/overview.html>
- Clarke, R. Y. (2013, octobre). Smart Cities and the Internet of Everything : The Foundation for Delivering Next-Generation Citizen Services. Récupéré de [http://www.cisco.com/c/dam/en\\_us/solutions/industries/docs/scc/ioe\\_citizen\\_services\\_white\\_paper\\_idc\\_2013.pdf](http://www.cisco.com/c/dam/en_us/solutions/industries/docs/scc/ioe_citizen_services_white_paper_idc_2013.pdf)
- Clarke, R. Y., & Brooks, A. (2015). IDC MaturityScape: Smart City. Récupéré de IDC: [https://www.thingworx.com/wpcontent/uploads/2016/05/WP\\_idc\\_maturityscape-smart-city\\_US40814315\\_EN.pdf](https://www.thingworx.com/wpcontent/uploads/2016/05/WP_idc_maturityscape-smart-city_US40814315_EN.pdf)
- CNIL. (2017). La plateforme d'une ville : Les données personnelles au cœur de la fabrique de la smart city. Dans *Cahier de l'Innovation et Prospective n°5*, sous la dir. d'Isabelle Falque-Pierrotin, Récupéré de [https://www.cnil.fr/sites/default/files/atoms/files/cnil\\_cahiers\\_ip5.pdf](https://www.cnil.fr/sites/default/files/atoms/files/cnil_cahiers_ip5.pdf)
- Comfort, P. (2017, octobre). Highlight at APTA Expo 2017. Récupéré de: <http://www.trapezgroup.com/blog-entry/ceos-autonomous-announcements-highlights-at-apta-expo-2017>
- Cordeiro, C. M., & Al-Hawamdeh, S. (2001, janvier). National Information Infrastructure and the realisation of Singapore IT2000 initiative. *Information Research*, 6 (2). Récupéré de: <http://www.informationr.net/ir/6-2/paper96.html>
- D'Alimonte, M. (2015). This is exactly how the STM's bus tracking app will work in 2016. Dans *mtlblog.com*. Récupéré de: <https://www.mtlblog.com/news/this-is-exactly-how-the-stms-bus-tracking-app-will-work-in-2016>
- Daugherty, P., Banerjee, P., Negm, W., & Alter, A. E. (2015). Driving Unconventional Growth through the Industrial Internet of Things. Accenture. Récupéré de: [https://www.accenture.com/us-en/\\_acnmedia/Accenture/next-gen/reassembling-industry/pdf/Accenture-Driving-Unconventional-Growth-through-IIoT.pdf](https://www.accenture.com/us-en/_acnmedia/Accenture/next-gen/reassembling-industry/pdf/Accenture-Driving-Unconventional-Growth-through-IIoT.pdf)
- Edvinson, L. (2006). Aspects on the city as a knowledge tool. *Journal of Knowledge Management*, 10 (5), 6-13. <https://doi.org/10.1108/13673270610691134>
- El Attar, M. M., & El Moustafid, M. S. (2014). Méthodologie de recherche par étude de cas dans les sciences de gestion au Maroc. Communication présentée à la Recherche en Science de Gestion: Contexte, Benchmark et nouvelles tendances, Casablanca.
- Eisenhardt, K.M. (1989). Building Theories from Case Study Research. *The Academy of Management Review*, 14 (4), 532-550. <https://doi.org/10.1108/13673270610691134>

- Energie 2007. (2012). ETDE teste l'éclairage sur le Vif. Récupéré de: [http://www.energie2007.fr/actualites/fiche/3772/etde\\_vif\\_eclairage\\_public\\_s\\_mart\\_grid\\_ampoule\\_led\\_120312.html](http://www.energie2007.fr/actualites/fiche/3772/etde_vif_eclairage_public_s_mart_grid_ampoule_led_120312.html)
- Ericsson Whitepaper. (2011). More than 50 billion connected devices. Ericsson. Récupéré de : [http://www.akosrs.si/files/Telekomunikacije/Digitalna\\_agenda/Internetni\\_protokol\\_Ipv6/More-than-50-billion-connected-devices.pdf](http://www.akosrs.si/files/Telekomunikacije/Digitalna_agenda/Internetni_protokol_Ipv6/More-than-50-billion-connected-devices.pdf)
- Frenois, M. (2016). Nice :Trois ans après son installation, le «stationnement intelligent» disparaît. 20 Minutes. Récupéré de <http://www.20minutes.fr/nice/1839579-20160504-nice-trois-ans-apres-installation-stationnement-intelligent-disparait>
- Frost&Sullivan. (2014, 26 novembre). Frost & Sullivan: Global Smart Cities market to reach US\$1.56 trillion by 2020. Communication présentée à la Connectivity and the Emergence of Smart Cities at GIL 2014 Australia. Récupéré de: <https://ww2.frost.com/news/press-releases/frost-sullivan-global-smart-cities-market-reach-us156-trillion-2020>
- Gagnon, Y.-C. (2012). L'étude de cas comme méthode de recherche (2ème ed.). Presse de l'Université du Québec.
- Gartner. (2015A, 10 novembre). Gartner Says 6.4 Billion Connected "Things" Will Be in Use in 2016, Up 30 Percent From 2015. Sous la dir. de Rob van der Meulen. Récupéré de: <http://www.gartner.com/newsroom/id/3165317>
- Gartner. (2015B, 20 octobre). What's New in Gartner's Hype Cycle for Emerging Technologies, 2015. Sous la dir. de Heather Pemberton Levy. Récupéré de: <https://www.gartner.com/smarterwithgartner/whats-new-in-gartners-hype-cycle-for-emerging-technologies-2015/>
- Gascó, M. (2016, 5-8 Jan). What Makes a City Smart? Lessons from Barcelona. Communication présentée à la 49th Hawaii International Conference on System Sciences (HICSS). <https://doi.org/10.1109/HICSS.2016.373>
- GIEC. (2014). Changements climatiques 2014 Rapport de synthèse Résumé à l'intention des décideurs [Communiqué de Presse]. Récupéré de: [http://www.ipcc.ch/pdf/assessmentreport/ar5/syr/AR5\\_SYR\\_FINAL\\_SPM\\_fr.pdf](http://www.ipcc.ch/pdf/assessmentreport/ar5/syr/AR5_SYR_FINAL_SPM_fr.pdf)
- Giffinger, R., Fertner, C., Kramar, H., Kalasek, R., Pichler-Milanović, N., & Meijers, E. (2007). Smart Cities Ranking of European medium-sized cities. Récupéré de : [http://www.smartcities.eu/download/smart\\_cities\\_final\\_report.pdf](http://www.smartcities.eu/download/smart_cities_final_report.pdf)
- Giffinger, R., & Gudrun, H. (2010). Smart cities ranking: an effective instrument for the positioning of the cities? ACE : Architecture, City and Environment, 4(12), 7-26. <http://dx.doi.org/10.5821/ace.v4i12.2483>
- Gigli, M., & Koo, S. (2011). Internet of things: services and applications categorization. Advances in Internet of Things, 1 (02), 27. <http://dx.doi.org/10.4236/ait.2011.12004>

- Green, J. (2014). IoT Reference Model Whitepaper. Récupéré de Internet of Things World :  
[http://cdn.iotwf.com/resources/71/IoT Reference Model White Paper June 4 2014.pdf](http://cdn.iotwf.com/resources/71/IoT%20Reference%20Model%20White%20Paper%20June%204%202014.pdf)
- Guba, E. G., & Lincoln, Y. S. (1994). Competing paradigms in qualitative research. *Handbook of qualitative research*, 2 (163-194), 105.
- Gungor, V. C., Sahin, D., Kocak, T., Ergut, S., Buccella, C., Cecati, C., & Hancke, G. P. (2011). Smart grid technologies: Communication technologies and standards. *IEEE transactions on Industrial informatics*, 7(4), 529-539.  
<https://doi.org/10.1109/TII.2011.2166794>
- Hammad, R., & Ludlow, D. (2016, 6-9 Dec. 2016). Towards a Smart Learning Environment for Smart City Governance. Communication présentée à the 2016 IEEE/ACM 9th International Conference on Utility and Cloud Computing (UCC).
- Hatch, D. (2013). Singapore Strives to Become 'The Smartest City'. Dans *Governing The States and localities*. Récupéré de:  
<http://www.governing.com/topics/transportation-infrastructure/gov-singapore-smartest-city.html>
- IERC (date n.c.). Internet of Things. Récupéré de: [http://www.internet-of-things-research.eu/about\\_iot.html](http://www.internet-of-things-research.eu/about_iot.html)
- Infopresse (2015), Une application pour se stationner à Montréal. Récupéré de:  
<http://www.infopresse.com/article/2015/7/14/une-application-pour-se-stationner-dans-montreal-et-quebec>
- Jadoul, M. (2016). How big is the Internet of Things ?. Nokia. Récupéré de:  
<https://insight.nokia.com/how-big-internet-things-part-1>
- Jiong, J., Gubbi, J., Marusic, S., & Palaniswami, M. (2014). An Information Framework for Creating a Smart City Through Internet of Things. *Internet of Things Journal*, IEEE, 1 (2), 112-121.  
<https://doi.org/10.1109/JIOT.2013.2296516>
- Juniper. (2015). 'Internet of things' connected devices to almost triple to over 38 billion units by 2020 [Communiqué de Presse]. Récupéré de:  
<http://www.juniperresearch.com/press/press-releases/iot-connected-devices-to-triple-to-38-bn-by-2020>
- Katundi, E., & Bendavid, Y. (2018). Modèle de coévolution des villes intelligentes et de l'internet des objets. AIM 2018 à Montréal. récupérer de:  
<https://aim2018.sciencesconf.org/>
- Khan, R., Khan, S. U., Zaheer, R., & Khan, S. (2012, 17-19 Dec. 2012). Future Internet: The Internet of Things Architecture, Possible Applications and Key Challenges. Communication présentée à the Frontiers of Information Technology (FIT), 2012 10th International Conference on.  
<https://doi.org/10.1109/FIT.2012.53>
- Kim, H. M., & Han, S. S. (2012). City profile: Seoul. *Cities*, 29(2), 142–154.  
<https://dx.doi.org/10.1016/j.cities.2011.02.003>

- Kim, S., & Kim, S. (2016). A multi-criteria approach toward discovering killer IoT application in Korea. *Technological Forecasting and Social Change*, 102, 143-155. <https://doi.org/10.1016/j.techfore.2015.05.007>
- Komninos, N. (2006). The architecture of intelligent cities : Integrating human, collective and artificial intelligence to enhance knowledge and innovation. Communication présenté à the Intelligent Environments, 2006. IE 06. 2nd IET International Conference on.
- Koshizuka, N., & Sakamura, K. (2010, septembre). Ubiquitous ID : Standards for Ubiquitous Computing and the Internet of Things. *IEEE Pervasive Computing*, 9(4), 98-101. <https://doi.org/10.1109/MPRV.2010.87>
- Lamigeon, V. (2013). Le vrai prix des avions d'Airbus et de Boeing. *Challenges*. Récupéré de : [https://www.challenges.fr/salon-du-bourget/le-vrai-prix-des-avions-d-airbus-et-de-boeing\\_10040](https://www.challenges.fr/salon-du-bourget/le-vrai-prix-des-avions-d-airbus-et-de-boeing_10040)
- Langevin, M., & Merveille, N. (2017). Baromètre de l'accessibilité et de l'utilisabilité des services numériques de la ville intelligente et numérique. Communication donnée lors de la présentation des lauréats de l'appel à projets "Ville intelligente et durable" à l'Université du Québec à Montréal (UQAM), Montréal
- 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>
- Lee, J., Bagheri, B., & Kao, H.-A. (2015). A Cyber-Physical Systems architecture for Industry 4.0-based manufacturing systems. *Manufacturing Letters*, 3, 18-23. <https://doi.org/10.1016/j.mfglet.2014.12.001>
- Li, N., Calis, G., & Becerik-Gerber, B. (2012). Measuring and monitoring occupancy with an RFID based system for demand-driven HVAC operations. *Automation in Construction*, 24, 89-99. <http://dx.doi.org/10.1016/j.autcon.2012.02.013>
- Litman, T. (2007). Parking management Best practice: Evaluating Strategies that Results in more efficient use of parking resources. Communication présentée à the WCTR 2007, Berkley, California.
- Manville, C., Cochrane, G., Cave, J., Millard, J., Pederson, J. K., Tharrup, R. K., Kotterink, B. (2014). Mapping smart cities in the EU. Récupéré de: <http://www.smartcities.at/assets/Publikationen/Weitere-Publikationen-zum-Thema/mappingsmartcities.pdf>
- Maan, L. (2015). Internet of Things Market to Reach \$1.7 Trillion by 2020 : IDC. Reuters. Récupéré de: <https://www.reuters.com/article/us-ids-research/internet-of-things-market-to-triple-to-1-7-trillion-by-2020-idUSKBN00I1NO20150602>
- Martin, J. F., Behrens, K., & Boualam, B. (2017). Des industries aux nouvelles technologies : dynamiques de quartiers à Montréal et au Canada. Communication donnée lors de la présentation des lauréats de l'appel à projets "Ville intelligente et durable" à l'Université du Québec à Montréal (UQAM), Montréal

- Matricis. (date n.c.). Solution de maintenance prédictive. Récupéré de: <http://matricis.com/fr/iot-analytique-avancee/maintenance-predictive-m4/>
- Mehlhorn, A. (2015). Future of Urban Mobility – Electrification, Automation, Digitalization. Siemens. Récupéré de: <https://fahrzeugtechnik.fh-joanneum.at/veranstaltungen/2015-2016/2015-10-12.pdf>
- Mell, P., & Grance, T. (2011). The NIST Definition of Cloud Computing. NIST, Editor. 2009, National Institute of Standards and Technology: Gaithersburg .Récupéré de: <http://faculty.winthrop.edu/domanm/csci411/Handouts/NIST.pdf>
- Metrosense. (date n.c.). MetroSense - RFID-based waste sorting solution. Récupéré de: <http://www.metrosense.com/rfid-based-waste-sorting/index.php>
- Miller, H. G., & Mork, P. (2013). From Data to Decisions: A Value Chain for Big Data. IT Professional, 15(1), 57-59. <https://doi.org/10.1109/MITP.2013.11>
- Moore, G. A. (2002). Crossing the chasm: marketing and selling high-tech products to mainstream customers. New York : HarperBusiness Essentials.
- Nakamura, H., Kajikawa, Y., & Suzuki, S. (2013). Multi-level perspectives with technology readiness measures for aviation innovation. Sustainability Science, 8(1), 87-101.
- Nam, T., & Pardo, T. A. (2011). Conceptualizing smart city with dimensions of technology, people, and institutions. Communication présentée à the Proceedings of the 12th Annual International Digital Government Research Conference: Digital Government Innovation in Challenging Times.
- Newman, D. (2017). The Top 8 IoT Trends for 2018. Forbes. Récupéré de: <https://www.forbes.com/sites/danielnewman/2017/12/19/the-top-8-iot-trends-for-2018/#5f1913d567f7>
- Noisette, T. (2013). La mairie de Nice inaugure le « stationnement intelligent » en centre ville. Zdnet. Récupéré de: <http://www.zdnet.fr/actualites/la-mairie-de-nice-inaugure-le-stationnement-intelligent-en-centre-ville-39788549.htm>
- Noyes, A. K. (2014). Montpellier To Test High-Tech Parking Meters. VPR. Récupéré de: <http://digital.vpr.net/post/montpellier-test-high-tech-parking-meters#stream/0>
- Ontario. (date n.c.). Smart Grid Fund. Gouvernement de l'Energie de l'Ontario. Récupéré de: <http://www.energy.gov.on.ca/en/smart-grid-fund/>
- Perron, B., & Doré, C. (2013). Rapport d'inspection concernant l'utilisation par Hydro-Québec des compteurs de nouvelle génération et de l'implantation d'une infrastructure de mesurage avancée. Commission d'accès à l'information du Québec.
- Ramos, J.-B. D. (2017). Horaires, cadence, tarifs... Les attentes des usagers des bus Amelys. La République du Centre. Récupéré de: [http://www.larep.fr/montargis/transport/2017/11/17/horaires-cadence-tarifs-les-attentes-des-usagers-des-bus-amelys\\_12632825.html](http://www.larep.fr/montargis/transport/2017/11/17/horaires-cadence-tarifs-les-attentes-des-usagers-des-bus-amelys_12632825.html)
- Registiaire des entreprises. (date n.c.). Immatriculer une entreprise. Récupéré de: <http://www.registreentreprises.gouv.qc.ca/fr/demarrer/immatriculer/>

- Rhodes, S. (2009). Parking Meters May Go Hollywood. NBC. Récupéré de: <http://www.nbcchicago.com/news/business/Meter-Madness-Moves-West.html>
- Rifkin, J. (2011). The Third Industrial Revolution: How lateral power is transforming energy, the economy, and the world. St. Martin's Press.
- Rogers, E. M. (2002). Diffusion of innovations (5<sup>e</sup> éd.). Free Press.
- Romero-Torres, A., & Bonneau, C. (2017). Baromètre de l'accessibilité et de l'utilisabilité des services numériques de la ville intelligente et numérique. Communication donnée lors de la présentation des lauréats de l'appel à projets "Ville intelligente et durable" à l'Université du Québec à Montréal (UQAM), Montréal.
- Russell, G. (2016). RATP, SNCF : le palmarès des lignes noires en Ile-de-France. LeFigaro. Récupéré de: <http://www.lefigaro.fr/conso/2016/03/31/05007-20160331ARTFIG00012-metro-rer-transilien-le-palmares-des-lignes-noires.php>
- Rybicka, J., Tiwari, A., & Leeke, G. A. (2016). Technology readiness level assessment of composites recycling technologies. Journal of Cleaner Production, 112, Part 1, 1001-1012. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2015.08.104>
- Salesforce (date n.c.). The Rise of systems of intelligence. In how the internet of things and smart systems will change everything [Communiqué de presse]. Récupéré de: [https://secure2.sfdcstatic.com/assets/pdf/misc/Systems\\_of\\_Intelligence\\_E-book.pdf](https://secure2.sfdcstatic.com/assets/pdf/misc/Systems_of_Intelligence_E-book.pdf)
- Samsung. (date n.c.). How Smarthings works? [Communiqué professionnel]. Samsung. Récupéré de: <https://www.smarthings.com/how-it-works>
- Sanchez, L., Muñoz, L., Galache, J. A., Sotres, P., Santana, J. R., Gutierrez, V., Pfisterer, D. (2014). SmartSantander: IoT experimentation over a smart city testbed. Computer Networks, 61, 217-238. <https://doi.org/10.1016/j.bjp.2013.12.020>
- Serres, A. d., & Sicotte, H. (2017). Les immeubles intelligents dans la ville intelligente : une perspective écosystémique. Communication donnée lors de la présentation des lauréats de l'appel à projets "Ville intelligente et durable" à l'Université du Québec à Montréal (UQAM), Montréal.
- Shan, T. (2015). Internet of Things Maturity Model. Récupéré de: <http://cloudonomic.blogspot.ca/2015/02/internet-of-things-maturity-model.html>
- Sourisseau, Y. (2018). Dijon Métropole, le premier vrai territoire intelligent français ? Ville Intelligente Mag. Récupéré de: [https://www.villeintelligente-mag.fr/Dijon-Metropole-le-premier-vrai-territoire-intelligent-francais%C2%A0\\_a460.html](https://www.villeintelligente-mag.fr/Dijon-Metropole-le-premier-vrai-territoire-intelligent-francais%C2%A0_a460.html)
- Talon, C. (2012). IDC Energy Insights Smart Buildings Maturity Model. Récupéré de: <http://www.slideshare.net/CaseyTalon/idc-ei-smart-buildings-maturity-model-webcast-4-3-12-slides>

- Teo, T. S. H., & Lim, V. K. G. (1999, février). Singapore — an « intelligent island »: moving from vision to reality with information technology. *Science and Public Policy*, 26(1), 27-36. <https://doi.org/10.3152/147154399781782626>
- Trottier, M. C. (2017). STM : demande d'une politique pour compenser les retards. *Journal de Montréal*. Récupéré de: <http://www.journaldemontreal.com/2017/03/09/stm-demande-dune-politique-pour-compenser-les-retards>
- UnionEuropéenne. (2014). Mapping Smart Cities in the EU [Communiqué institutionnel]. Récupéré de Policy Department A: [http://www.europarl.europa.eu/RegData/etudes/etudes/join/2014/507480/IPO\\_L-ITRE\\_ET\(2014\)507480\\_EN.pdf](http://www.europarl.europa.eu/RegData/etudes/etudes/join/2014/507480/IPO_L-ITRE_ET(2014)507480_EN.pdf)
- UnitedNations. (2014). World Urbanization Prospects: The 2014 Revision [Communiqué institutionnel]. Récupéré de: <http://esa.un.org/unpd/wup/Highlights/WUP2014-Highlights.pdf>
- Viale Pereira, G., Cunha, M. A., Lampoltshammer, T. J., Parycek, P., & Testa, M. G. (2017). Increasing collaboration and participation in smart city governance: a cross-case analysis of smart city initiatives. *Information Technology for Development*, 23(3), 526-553. <https://doi.org/10.1080/02681102.2017.1353946>
- Ville de Montréal. (date n.c.) Montréal : ville intelligente et numérique Stratégie 2014-2017 [Communication institutionnel]. Récupéré de: <http://villeintelligente.montreal.ca/sites/villeintelligente.montreal.ca/files/presentation-strategie-montrealaise-2014-2017-ville-intelligente-et-numerique-fr-amendee.pdf>
- Weiser, M. (1991, juillet). The computer for the 21st century. *Scientific American*, 265(3), 94-104. <https://doi.org/10.1145/329124.329126>
- Yin, R. K. (1994). *Case study research: Design and methods*. Sage publications.
- Zainal, Z. (2007, 9 juin). Case study as a research method. *Jurnal Kemanusiaan*, 5(1), 1-6. Récupéré de: [http://eprints.utm.my/8221/4/48-case-study-as-a-research-method.html\\_Itemid%3D1328](http://eprints.utm.my/8221/4/48-case-study-as-a-research-method.html_Itemid%3D1328)
- Zivic, N., Obaid, U.-R., & Ruland, C. (2015, 24-26 Nov. 2015). Evolution of smart metering systems. Communication présentée à the Telecommunications Forum Telfor (TELFOR), 2015 23rd.

## ANNEXES

## Annexe A Certificat d'accomplissement

<b>Groupe en éthique de la recherche</b> <small>Piloter l'éthique de la recherche humaine</small>	<b>EPTC 2: FER</b>
<h2><i>Certificat d'accomplissement</i></h2> <p><i>Ce document certifie que</i></p> <p><b>Erind Katundi</b></p> <p><i>a complété le cours : l'Énoncé de politique des trois Conseils : Éthique de la recherche avec des êtres humains : Formation en éthique de la recherche (EPTC 2 : FER)</i></p> <p><b>6 mai, 2016</b></p>	

## Annexe B Certificat d'approbation éthique

**UQÀM** | Comités d'éthique de la recherche  
avec des êtres humains

No. de certificat : 1747

Certificat émis le : 31-03-2017

## CERTIFICAT D'APPROBATION ÉTHIQUE

Le Comité d'éthique de la recherche pour les projets étudiants impliquant des êtres humains (CERPE 1 : sciences de la gestion) a examiné le projet de recherche suivant et le juge conforme aux pratiques habituelles ainsi qu'aux normes établies par la Politique No 54 sur l'éthique de la recherche avec des êtres humains (Janvier 2016) de l'UQAM.

Titre du projet :	Coévolution de la ville intelligente et de l'internet des objets
Nom de l'étudiant :	Erind KATUNDI
Programme d'études :	Maîtrise ès sciences (technologie de l'information) (profil avec mémoire)
Direction de recherche :	Ygal BENDAVID
Modalités d'application	

Toute modification au protocole de recherche en cours de même que tout événement ou renseignement pouvant affecter l'intégrité de la recherche doivent être communiqués rapidement au comité.

La suspension ou la cessation du protocole, temporaire ou définitive, doit être communiquée au comité dans les meilleurs délais.

Le présent certificat est valide pour une durée d'un an à partir de la date d'émission. Au terme de ce délai, un rapport d'avancement de projet doit être soumis au comité, en guise de rapport final si le projet est réalisé en moins d'un an, et en guise de rapport annuel pour le projet se poursuivant sur plus d'une année. Dans ce dernier cas, le rapport annuel permettra au comité de se prononcer sur le renouvellement du certificat d'approbation éthique.



Pascale Denis  
Présidente du CERPE 1 : École des sciences de la gestion  
Professeure, Département d'organisation et ressources humaines

## Annexe C Exemple Guide d'entretien

### Avant l'entrevue :

- Expliquer qu'il s'agit d'une entrevue qui n'abordera pas de questions liées à la vie personnelle ou professionnelle du répondant. Nous faisons uniquement appel à la connaissance des répondants sur un sujet d'intérêt (ville intelligente et/ou de l'internet des objets) sur lequel nous travaillons.
- Les informations recherchées et publiées ne concerneront que celles utiles à la critique du modèle d'analyse proposé dans ce mémoire. Ces informations proviendront de l'expertise que le répondant possède dans le domaine de la ville intelligente et/ou de l'internet des objets.
- Néanmoins il est possible qu'il y ait des questions auxquelles l'expert ne veuille pas répondre. Nous comprenons et respectons cette décision.
- Il convient de préciser à l'avance l'horaire, la date, le lieu, la durée envisagée de l'entretien ou tout autre élément à l'interviewé pour que l'entrevue soit réalisée dans les meilleures conditions.
- Rappeler que l'étude dispose d'une approbation éthique et qu'à tout moment l'expert peut se retirer du projet.

---

### Ouverture :

- Politesse/Remerciement/Liberté offerte à l'expert :
- Bonjour, merci d'avoir accepté de me rencontrer pour mon projet de recherche qui porte sur la coévolution de la ville intelligente et de l'internet des objets. Je tiens à préciser que comme convenu vous n'êtes pas obligé de répondre à des questions et que sur simple demande de votre part, vous pouvez vous retirer de l'enquête. Cette recherche suit également l'approbation éthique de recherche fournie par le CERPE de l'UQAM dont je pourrais vous fournir les dispositions. La confidentialité des informations recueillies sera également préservée.
- Description du chercheur et du cadre de la recherche
- Présentation du projet : problématique et des questions de recherches que l'on souhaite résoudre (c.-à-d. volonté de comprendre l'état actuel d'applications/de services de la ville intelligente, et de prévoir les trajectoires de telles applications en fonction de la maturité des technologies de l'Internet des objets).

### Justifier le besoin de l'expert dans la recherche :

- Montrer pourquoi l'expertise du répondant s'inscrit dans le projet de développement d'un modèle (d'une matrice) de coévolution de la ville intelligente et de l'internet des objets.
- Confirmer avec lui qu'il possède une expertise dans le thème des villes intelligentes et/ou de l'internet des objets.

## AMENER LE THÈME D'ÉVOLUTION DES SERVICES DANS LA VI ET L'IOT

Phase 1 : SANS MATRICE (c.-à-d. sans présenter le modèle d'analyse préliminaire que nous voulons ajuster)

La première partie consiste à discuter avec l'expert de la possibilité de définir différents niveaux d'évolution dans un service selon différents critères.

À aborder :

- Les niveaux d'évolution des services dans une ville intelligente
- L'Internet des Objets
- Les critères définissant un niveau d'évolution

Type de questions :

D'après l'expérience de l'expert dans le domaine :

- Quels seraient les différents stades d'évolution/niveaux des services dans une ville intelligente ?
- Est-ce qu'il a observé une évolution des services avec l'émergence de l'internet des objets ?
- Combien de niveaux d'évolution l'expert peut-il observer ?
- Quels critères pourrait définir chaque niveau (pour chacun des thèmes) ?
- Quels critères permettraient de définir la frontière entre chaque niveau ?

### Phase 2 : AVEC MATRICE

La seconde partie consiste à présenter à l'expert le modèle préliminaire développé (sous forme de matrice de c0-évolution) qui a été développé tout en questionnant sur les réponses de la première partie.

À aborder :

Comparer/discuter les niveaux et les critères présentés (notre modèle vs celui du répondant)

Présentation de la matrice et de son utilisation :

- Signification de chaque ligne et de chaque colonne
- Explication des critères sélectionnés
- Mise en parallèle avec les niveaux et les critères identifiés dans la phase 1 du questionnaire
- Discussion sur la comparaison (ou non)/Critique constructive de la matrice développée

Appropriation de la matrice par l'expert

- L'expert peut poser des questions afin d'éclaircir des points qui lui paraissent peu clair, manquant ou non pertinent à son avis.
- Donner la possibilité de modifier directement la matrice (critiquer, raturer, barrer, commenter, annoter).

- La matrice ainsi modifiée servira de référence pour ajuster le modèle initial développé par le chercheur. Les réponses obtenues (phase 1 de la recherche) et les critiques du modèle proposé (phase 2 de la recherche) seront ainsi comparées à celles d'autres répondants. – Discuter des critiques pour mieux les comprendre.

### Phase 3 : Discussion ouverte

Expliquer les prochaines étapes dans le projet, qu'est-ce que je veux faire avec cette matrice ?

- Présenter les cas pratiques que je vais, par la suite, exploiter pour tester la matrice de coévolution (cas préalablement déjà identifiés dans la proposition de recherche validée par le SCAE)
- Relancer sur les cas pratiques si le temps le permet (cette partie est la variable d'ajustement selon les disponibilités des experts sélectionnés)

---

### Conclusion :

- Merci beaucoup d'avoir pris le temps de répondre à mes questions. J'espère que cet entretien a pu vous être également utile. Je tiens à rappeler les conditions que j'avais exprimées au début de l'interview. À tout moment, il vous est possible de vous retirer de la recherche.
- Il est possible que vous vouliez ajouter d'autres informations sur la ville intelligente et/ou de l'internet des objets que vous jugez important que j'aie omis de mentionner. — Demander la possibilité de recontacter par courriel si besoin de clarification.

---

### Après entrevue :

- Envoyez un courriel de remerciement ainsi que la proposition d'un suivi de la recherche.

