

Mastère Spécialisé Politiques et Actions Publiques pour le Développement Durable

**GROUPE D'ANALYSE D'ACTION PUBLIQUE**

**Septembre 2017 - Janvier 2018**

dirigé par Florent BOITHIAS, Bérengère LEBENTAL et Vincent SPENLEHAUER

## La ville et l'internet des objets

Mettre l'Internet des Objets au service de la ville intelligente et durable

par

**Robert Benda, Thibault Fagiani,  
Paul Giovachini, Côme Pelée de Saint Maurice**

En partenariat avec Les Interconnectés



Soutenu à l'École Nationale des Ponts et Chaussées le 1<sup>er</sup> mars 2018  
Cité Descartes, 6-8 Avenue Blaise Pascal, 77455 Champs-sur-Marne, France

## Résumé

Notre étude a été réalisée dans le cadre d'un projet de Groupe d'Analyse de l'Action Publique, sous l'égide du CEREMA et en partenariat avec les Interconnectés. Elle porte sur l'Internet des objets, et plus particulièrement le déploiement d'objets connectés par les collectivités françaises pour la mise en place des nouvelles "villes intelligentes". A partir d'une étude bibliographique et d'une série d'entretiens avec les acteurs du secteur, nous avons voulu, tout d'abord, faire un état des lieux de l'internet des objets dans les villes aujourd'hui : quelles technologies ont été déployées, dans quels buts, quel est l'état d'avancement des projets, quelles ont été les stratégies retenues, etc. Nous nous sommes ensuite intéressés aux différents retours d'expériences des projets mis en place en vue de faire émerger des bonnes pratiques et quelques points de vigilance sur plusieurs aspects : conception des projets, modes de gouvernance pour l'internet des objets, particularités contractuelles, et modèles économiques.

## **Abstract**

Ordered by the CEREMA, this report sums up the work of our "Groupe d'Analyse de l'Action Publique", realized in partnership with the association Les Interconnectés. We focused in this study on the Internet of Things (IoT) and its application in French cities, along with the development of the concept of "smart cities". After a bibliographical review, we conducted a series of interviews with various stakeholders. This work gave us a good picture of the existing IoT projects : which technologies were chosen, why, how mature the projects are, which strategies led to these projects, etc. This feedback was then analyzed in order to figure out the virtuous behaviors and point out some key features : project design, organization of the public bodies launching IoT projects, contracts for IoT and business models.

# Table des matières

<b>Introduction</b>	<b>0</b>
<b>I L'internet des objets : état des lieux</b>	<b>3</b>
<b>1 L'internet des objets, pour quels usages ?</b>	<b>4</b>
1.1 Économies de fonctionnement . . . . .	4
1.1.1 Télé-relève de fluides, maintenance prédictive et gestion technique du bâtiment : un investissement modéré pour des retombées importantes . . . . .	5
1.1.2 Stationnement intelligent : l'IoT pour amorcer avec succès le virage de la dépénalisation ? . . . . .	7
1.1.3 Eclairage intelligent : une possibilité après le passage à un éclairage basse consommation . . . . .	8
1.1.4 Contrôle des incivilités par la télé-surveillance . . . . .	9
1.1.5 Optimisation de la collecte des déchets : une bonne échelle d'application à trouver pour des bénéfices multiples . . . . .	10
1.2 Aide à la décision et évaluation des politiques . . . . .	12
1.2.1 La qualité de l'air locale : des coûts de maintenance importants et un compromis entre performance et nombre de capteurs à trouver . . . . .	12
1.2.2 Nuisances sonores : une possible remontée de données collaborative . . . . .	16
1.2.3 Adaptation au changement climatique : économiser la ressource en eau . . . . .	16
1.2.4 Évaluation et régulation du trafic routier : des données existantes à valoriser . . . . .	16
1.3 L'internet des objets au service des citoyens . . . . .	18
1.3.1 L'accès aux données générées par la ville : les plateformes Open Data . . . . .	18
1.3.2 Améliorer l'expérience de la ville . . . . .	19
1.3.3 Santé . . . . .	20
1.4 Les smart grids : mieux connaître les consommations et s'adapter à un mix énergétique décentralisé pour des économies conséquentes dans le futur . . . . .	21
1.5 Développer une infrastructure intelligente pour le véhicule autonome . . . . .	23
<b>2 Les technologies de l'internet des objets</b>	<b>25</b>
2.1 Différents schémas d'architecture . . . . .	25
2.2 Quelle connectivité et quel type de réseau pour quel usage ? . . . . .	28
2.3 Capteurs . . . . .	34
2.3.1 Définir l'usage du capteur pour une donnée de qualité . . . . .	34
2.3.2 Anticiper les contraintes liées à l'installation . . . . .	36

2.3.3	Le capteur sur le long terme : maintenance et fin de vie . . . . .	37
2.4	S’orienter vers le bon niveau d’interopérabilité . . . . .	37
2.4.1	Interopérabilité dans les couches basses . . . . .	38
2.4.2	Interopérabilité dans les couches hautes . . . . .	40
2.5	Sécurité des données et des réseaux et anonymisation des données . . . . .	42
2.6	Bilan écologique - Analyse du Cycle de Vie . . . . .	45
<b>3</b>	<b>Un écosystème complexe aux acteurs multiples</b>	<b>46</b>
3.1	Les acteurs publics, architectes des projets IoT dans les villes . . . . .	46
3.2	Le citoyen, usager final . . . . .	47
3.2.1	Le citoyen, bénéficiaire indirect de l’internet des objets pour la ville	48
3.2.2	L’internet des objets change le rapport du citoyen à l’action publique	48
3.2.3	Protection des données personnelles . . . . .	49
3.3	Acteurs privés intervenant sur une partie de la chaîne . . . . .	49
3.3.1	Acteurs des terminaux . . . . .	50
3.3.2	Acteurs d’infrastructures des réseaux et des plateformes logicielles et de la donnée . . . . .	51
3.4	Acteurs privés intégrateurs . . . . .	52
<b>II</b>	<b>Retours d’expériences et bonnes pratiques</b>	<b>54</b>
<b>4</b>	<b>Analyse multi-critères des entretiens et des projets</b>	<b>55</b>
<b>5</b>	<b>À l’origine d’un projet internet des objets : stratégie et définition du besoin</b>	<b>57</b>
5.1	Des stratégies diverses à l’origine des projets IoT . . . . .	57
5.1.1	Approche par le besoin . . . . .	57
5.1.2	Approche par le développement économique . . . . .	59
5.1.3	Approche par le marketing territorial . . . . .	61
5.2	Une étape indispensable, la définition du besoin . . . . .	61
5.2.1	L’identification du besoin . . . . .	61
5.2.2	Le choix de la solution technique . . . . .	63
5.3	Validation du cas d’usage et déploiement . . . . .	64
5.3.1	Pertinence de l’expérimentation . . . . .	64
5.3.2	Problématique du passage à l’échelle . . . . .	65
<b>6</b>	<b>Quelle gouvernance pour l’internet des objets ?</b>	<b>66</b>
6.1	L’organisation en silos spécialisés par métiers . . . . .	66
6.2	L’organisation transversale . . . . .	67
6.3	La gouvernance a un impact faible sur la réussite des projets contrairement à l’implication des équipes . . . . .	67
<b>7</b>	<b>Contractualisation et lien avec le privé</b>	<b>68</b>
7.1	Marchés publics et innovation, une interaction compliquée . . . . .	68
7.1.1	L’Accord de R&D et de Recherche, une solution centrée sur l’expé- rimentation sans possibilité de poursuite . . . . .	69
7.1.2	Le partenariat d’innovation, une solution pertinente mais avec une procédure complexe . . . . .	71

7.1.3	L'appel à projet, une solution avec moins de pilotage de collectivité	73
7.1.4	Accords moins formels : contrats inférieurs au seuil des marchés publics, convention d'occupation du domaine public ou "gentleman agreement"	73
7.2	Problématique du passage à l'échelle	74
7.3	Industrialisation	76
7.3.1	Les marchés de Conception Réalisation Exploitation Maintenance	76
7.3.2	Contrat de Performance Energétique	76
7.3.3	Les Délégations de Service Public et Concessions, un vecteur important de données pour les collectivités	77
7.4	Bonnes pratiques : Clauses	78
7.4.1	L'instauration d'une clause sur les données	78
7.4.2	Le risque de la privatisation de la ville	78
7.4.3	La fin de contrat, un temps important de la relation contractuelle à anticiper	79
<b>8</b>	<b>Des modèles économiques à trouver</b>	<b>80</b>
8.1	Modèles économiques classiques	80
8.2	Aller vers des modèles plus originaux	82
8.2.1	Economie servicielle	82
8.2.2	Une offre distribuée, l'utilisateur-consommateur devient usager-producteur	83
8.2.3	Une tarification plus adaptée à définir	84
8.3	Valorisation de la donnée	85
8.4	Un retour sur investissement indirect (à plus long terme)	86
8.5	Tous les services n'ont pas vocation à trouver un équilibre économique	87
8.6	Conclusions et points d'attention	88
<b>9</b>	<b>Récapitulatif</b>	<b>89</b>
<b>A</b>	<b>Liste des personnes interviewées pour la réalisation de cette étude</b>	<b>95</b>
<b>B</b>	<b>Tableau d'analyse des projets</b>	<b>97</b>
<b>C</b>	<b>Carnet de Bord du GAAP</b>	<b>100</b>
C.1	Introduction	100
C.2	Difficultés rencontrées	101
C.2.1	Abondance bibliographique	101
C.2.2	Un choix de problématique complexe	102
C.2.3	Sujet large	102
C.2.4	Manque d'avis négatifs	103
C.2.5	Manque de recul sur les projets	103
C.3	Méthodologie	104
C.4	Forum des Interconnectés à Lyon	106

# Introduction

L'Internet des objets jouit de définitions diverses dans la littérature, notamment du fait de la proximité avec d'autres concepts de la "ville intelligente" et du foisonnement actuel autour de cette notion. En juin 2012, dans son rapport de présentation générale de l'Internet des objets [1], le groupement d'Union Internationale des Télécommunications définit l'internet des objets comme une « infrastructure mondiale pour la société de l'information, qui permet de disposer de services évolués en interconnectant des objets (physiques ou virtuels) grâce aux technologies de l'information et de la communication interopérables existantes ou en évolution ». Cette définition large englobe des applications dans de nombreux secteurs, allant de l'industrie à la domotique. Nous nous sommes intéressés plus particulièrement dans cette étude aux applications de l'Internet des objets pour la ville. Dans ce domaine, la définition retenue par les collectivités est, généralement, une infrastructure regroupant un réseau de capteurs sur site. A la lumière des entretiens que nous avons menés, l'Internet des objets pour les collectivités se sépare en deux volets principaux : **un besoin d'instrumentation et de mesure "temps réel" sur site**, ou **un système d'intelligence délocalisé**. Du fait des nombreuses innovations numériques connexes à l'Internet des objets, mais non directement liées à des terminaux connectés, nous chercherons à nous restreindre au maximum à ces deux notions tout au long de notre rapport. Dans la suite de ce rapport, nous utiliserons de façon indifférenciée les termes Internet des objets ou IoT (abréviation usuelle de l'anglais Internet of Things).

L'IoT apparaît comme une condition nécessaire, mais non suffisante, pour tendre vers un système intelligent, voire une ville dite intelligente, à terme. Le besoin de mesurer localement, de remonter une information du terrain en implantant un nouvel objet connecté, ou en rendant un objet déjà présent communiquant - afin d'utiliser une donnée existante non valorisée auparavant - est en effet un préalable à l'amélioration de la qualité de nombreux services. Mais l'instrumentation seule ne suffit pas et constitue le plus souvent une aide à la maintenance, à l'exploitation voire une aide pour une décision d'aménagement ou pour évaluer *ex-post* une politique publique. L'IoT que l'on peut qualifier de *passif*, *i.e.* l'instrumentation simple, est encore très majoritaire par rapport à l'IoT *actif*, qui comprendrait l'ensemble des dispositifs connectés pouvant aussi être activés à distance et influencer sur leur environnement immédiat. La ville intelligente l'est donc par l'association de l'IoT, de l'exploitation des données en aval puis de la décision humaine prise à l'aune des données remontées. La décision devient ainsi plus éclairée, pour avoir à terme un impact plus fort sur le territoire, dont l'état pourra être à nouveau diagnostiqué à moyen ou long terme grâce à l'instrumentation existante. Nous illustrerons également tout au long de ce rapport que l'IoT est un outil des collectivités pour amorcer simplement une démarche de ville plus durable, de par les économies financières et en ressources, ainsi que par des émissions mieux contrôlées et des pollutions moindres.

L'écosystème de l'Internet des objets est constitué d'un tissu complexe, encore en structuration, d'acteurs économiques de tailles et spécificités variées. On peut globalement classer le type d'opérateurs présents tout au long de la chaîne de valeurs de la manière suivante. Les objets connectés eux-mêmes, capteurs ou compteurs communiquants par exemple, sont généralement conçus par des start-ups ou PME, qui répondent à des marchés de niche assez spécifiques. Les offres de connectivité sont variées : opérateurs télécoms historiques, nouveaux entrants avec une offre de connectivité bas débit dédiée. Enfin, de grandes entreprises historiques sont présentes sur le marché des plateformes logicielles de remontée et visualisation de données ainsi que sur la valorisation et le croisement de ces données variées grâce à des méthodes d'apprentissage - domaines où se positionnent également de nombreuses start-ups spécialisées en analyse des données. Les entreprises citées dans ce rapport le sont comme exemples, afin de structurer la réflexion et par souci de clarté, sans prétention d'être exhaustif. Les opérateurs que nous avons rencontrés nous ont permis de construire un point de vue global du rôle du secteur privé dans l'IoT, en espérant qu'il représente au mieux la plupart des spécificités qu'on y trouve.

L'IoT est ainsi un sujet complexe qui se pose aux collectivités : quand utiliser de l'IoT et dans quel but ? Comment valoriser les données déjà existantes avant d'instrumenter plus encore ? Cela peut-il répondre à des besoins stratégiques comme de réaliser des économies de fonctionnement, d'informer sa population de la qualité des ressources vitales, ou d'aider à avoir une connaissance plus fine de son territoire et des effets des décisions d'aménagement ? Si la collectivité décide de s'engager dans cette voie, comment adapter sa structure de gouvernance en interne ? Comment gérer la relation avec le secteur privé - souvent associé en consortium, du fait de la complexité et de la diversité intrinsèque du domaine - et contractualiser au moindre risque sur des projets encore innovants et loin d'être tous au stade industriel ?

C'est donc dans la tradition d'expertise en aménagement du territoire fournie par le CEREMA aux collectivités locales que s'inscrit cette étude, en espérant qu'elle apporte idées, éclairages, points de vigilance et leviers intéressants pour contribuer au développement d'un Internet des objets permettant une amélioration de la qualité des services, voire un rapprochement entre citoyens et acteurs publics locaux. Notre étude est centrée sur l'IoT dans la ville, bien que de nombreuses autres applications existent, en particulier dans l'industrie ou l'agriculture. Nous avons également fait le choix de nous restreindre au cas de la France. Après un état des lieux de l'Internet des Objets centré sur les usages rencontrés tout au long de notre étude, les technologies sous-jacentes et les jeux d'acteurs qu'elles impliquent, nous résumerons les retours d'expérience obtenus en bonnes pratiques quant à la stratégie à adopter, aux possibles adaptations de gouvernance, aux aspects contractuels et enfin aux modèles économiques innovants qui se dégagent.

## Première partie

### L'internet des objets : état des lieux

# Chapitre 1

## L'internet des objets, pour quels usages ?

L'internet des objets peut répondre à des besoins et usages très divers selon les choix des collectivités. Une stratégie en silos métiers est la plus souvent adoptée bien que certaines villes se lancent dans une intégration transversale de ces outils. Nous détaillons dans ce chapitre les usages principaux identifiés lors de nos entretiens, **en commençant par ceux les plus susceptibles de générer un retour sur investissement rapide, puis en décrivant d'autres usages dont les bénéfices attendus sont plutôt socio-économiques que monétaires, ou de plus en plus éloignés dans le temps ou difficiles à quantifier** [2].

### 1.1 Économies de fonctionnement

L'internet des objets peut tout d'abord aider à réaliser des économies de fonctionnement et améliorer la qualité d'un service métier donné. Il s'agit d'optimiser les processus de suivi, de contrôle et d'entretien de la ville.

#### QUELQUES PROJETS IOT PERMETTANT DES ÉCONOMIES DE FONCTIONNEMENT :

- **Projet Smart Water** - Grand Lyon (Veolia et IBM) [en cours de déploiement]
- **Déploiement d'instrumentation sur les bâtiments publics** - Saint Sulpice La Forêt [opérationnel]
- **Télérelève des compteurs d'eau** - Saint Amand Montrond (m2o City) [Opérationnel]
- **Optimisation de la collecte des déchets** - Grand Lyon (société Cybeel) [Expérimentation]

### **1.1.1 Télé-relève de fluides, maintenance prédictive et gestion technique du bâtiment : un investissement modéré pour des retombées importantes**

#### **Optimiser la consommation des fluides :**

L'immense majorité des projets de ville intelligente s'appuyant sur l'internet des objets comprend un aspect d'optimisation de la gestion des fluides. La télé-relève est en effet l'usage qui permet le retour sur investissement le plus rapide et c'est le premier à être appliqué. Il consiste en la remontée des données de consommation des différents fluides - eau, gaz, chaleur, froid, électricité - à l'aide de compteurs rendus communicants. L'installation est le plus souvent gérée par l'entreprise délégataire de service public (DSP) correspondante - Veolia, GRDF, Enedis - en lien avec la collectivité concernée. Les détails techniques du fonctionnement de ces objets connectés seront précisés au chapitre 2.

Grâce à ce système, la collectivité peut repérer les anomalies criantes : fuites d'eau, défaillances d'isolation, mauvaises utilisations des équipements, gaspillage, etc. En l'absence d'instrumentation qui permet un suivi quotidien, ces dysfonctionnements sont difficiles à repérer et donc très coûteux pour la collectivité. L'instrumentation permet ici d'avoir un contrôle sur ces dysfonctionnements. De manière générale, ce type de système permet de piloter plus finement la consommation des fluides.

La télé-relève des mesures des compteurs d'eau a été déployée à Saint Amand Montrond. A titre d'exemple, les pertes d'eau par fuites entre l'étape initiale de pompage et la consommation finale y ont chuté de 39% à 6% grâce au diagnostic plus précis et quotidien permis par le système de compteurs d'eau communicants. Cette technologie est aussi en cours de déploiement à Lyon, dans le but d'avoir un meilleur suivi de la consommation des bâtiments publics, voire de quartiers entiers de la ville, et de préserver au mieux la ressource en eau.

En ce qui concerne le fluide "électricité", Enedis définit le calendrier de remplacement des compteurs communicants Linky en concertation avec les collectivités. Les régions PACA et Bretagne étant excentrées en termes de raccordement au réseau électrique national, elles sont prioritaires quant au besoin d'une meilleure compréhension et d'un suivi en temps réel de la consommation. Les possibilités générées par les compteurs électriques communicants seront détaillées à la partie 1.4.

#### **Optimiser la maintenance et le suivi :**

Un usage simple mais souvent oublié, pouvant générer des économies, consiste à mieux organiser les tâches des agents de la ville et mieux ordonnancer l'occupation des bâtiments publics en fonction de l'horaire et de la saison, de façon à diminuer les besoins en énergie sans que le niveau de confort soit dégradé. Dans la perspective du nouveau mix et réseau énergétique, être capable d'adapter sa consommation est en plus très bénéfique car permet d'aider à compenser l'intermittence des énergies renouvelables. Cela peut être aidé par une instrumentation et une meilleure connaissance des bâtiments. Ainsi la commune de Saint Sulpice, commune de 1350 habitants situé en Ile-et-Vilaine dans l'agglomération de Rennes, a mis en place des agendas qui lui ont permis de rationaliser quelque peu l'usage de ses bâtiments publics, tout comme la ville de Marseille. Saint Amand Montrond a elle pu prioriser le travail des agents des espaces verts de la ville - notamment grâce aux cap-

teurs présents sur place et aux données remontées - et numériser leur calendrier de travail.

De plus, il est désormais également possible de géolocaliser les canalisations de gaz ou d'eau, grâce à des puces RFID - voir partie 2.2. Ces données sont potentiellement intégrables dans une maquette BIM (Building Information Modeling) et très valorisables dans le contexte d'essor actuel du BIM, que ce soit pour la construction, l'entretien et la maintenance des bâtiments, mais aussi plus simplement pour le bon déroulement des travaux de voirie.

### **La mutualisation des données, un verrou à lever :**

La mutualisation des données de télérelève des différents fluides - eau, électricité, voire gaz - est un besoin remonté par certaines collectivités mais ne semble pas à l'ordre du jour des entreprises délégataires de service public (cf. partie 7.3.3). Les seuls bâtiments où il est possible de croiser les données de consommation d'eau, d'électricité, de gaz pour avoir une meilleure connaissance de leur utilisation - et de leur performance - sont les bâtiments publics, d'un côté pour des questions de confidentialité des données mais aussi parce que les prestataires ne se sont pas encore positionnés sur ce type d'offre (leur intérêt à mutualiser leurs données n'étant pas encore assez bien défini).

### **Quand investir dans la télé-relève sur les bâtiments publics ?**

Il n'est bien sûr pas prioritaire d'installer un système de télérelève si le réseau d'eau est dans un état d'usure avancé et que les fuites sont de toute façon très nombreuses. Dans ce cas, les investissements doivent être priorisés vers la réfection du réseau avant d'installer une télérelève. Le principe général suivant est un garde-fou utile à une technicisation trop rapide et inopportune des équipements, infrastructures ou services : améliorer d'ores et déjà l'existant au mieux avant de le rendre communicant. En d'autres termes, connecter les équipements ne permet pas de réparer un équipement défectueux.

Cependant, si le réseau est dans un état relativement bon, la télé-relève trouve alors un nouvel usage. Le fait d'avoir accès à l'information des quantités de fluides écoulées permet une maintenance plus ciblée et efficace, les économies réalisées étant alors en général très rapides. Ainsi à Saint Amand Montrond, les services techniques de la ville reçoivent une alerte lorsqu'une fuite d'eau est détectée - grâce à l'algorithme d'analyse des données remontées par les compteurs d'eau de m2o City - et peuvent intervenir de manière très rapide, évitant ainsi la perte de volumes d'eau conséquents. La commune réalise d'ores et déjà des économies de 50 000 euros par an pour tout ce qui concerne la gestion et la maintenance des réseaux de fluides - la mise en place des compteurs communicants ayant commencé en 2011 - sur un budget annuel de 1,2 million d'euros et avec des objectifs d'économies à terme de 200 000 euros. La bonne collaboration entre l'opérateur DSP et la collectivité est cruciale dans les communes de taille moyenne où les services techniques interviennent eux-mêmes.

## L'EXEMPLE DE SAINT SULPICE LA FORÊT :

La commune de Saint Sulpice La Forêt, aux environs de Rennes, attend des économies de 10 000 euros par an après avoir fait équiper ses six bâtiments publics de compteurs communicants pour tous les fluides, ainsi que des capteurs de contexte (température, luminosité, etc.) - pour un coût total de 20 000 euros, soit un ROI (retour sur investissement) attendu en deux ans.

Ce système permet :

- d'améliorer l'efficacité de la maintenance, en ciblant les réparations utiles grâce aux signatures des données remontées ;
- de repérer les gaspillages et inciter les usagers à utiliser au mieux les bâtiments ;
- d'évaluer les performances thermiques des bâtiments, en couplant les données de consommation avec les données de capteurs de température et d'humidité à l'intérieur des bâtiments.

Ce système pourra aussi permettre à la commune de **prioriser ses investissements de rénovation thermique**. Cet usage est répliquable à toute commune et permet des gains majeurs en dirigeant les investissements vers les bâtiments les plus énergivores ou les moins isolés d'abord - les coûts de rénovation thermique de bâtiments étant relativement élevés, l'ordre des travaux peut être important.

Le retour sur investissement rapide de ce type de système a d'ailleurs été pointé dans l'étude récente du Syntec Numérique [2] pour le télé-suivi des collèges du Département du Nord. Cet usage s'apparente aussi à une Gestion Technique du Bâtiment par l'IoT.

### 1.1.2 Stationnement intelligent : l'IoT pour amorcer avec succès le virage de la dépénalisation ?

Comme conséquence de l'article 63 de la loi MAPTAM de janvier 2014, la dépénalisation du stationnement payant sur voirie a pris effet le 1<sup>er</sup> janvier 2018. C'est l'occasion pour de nombreuses collectivités de définir une nouvelle politique de stationnement en centre-ville. L'internet des objets peut être un outil pour une meilleure gestion des places de stationnement, à la fois pour augmenter le taux de paiement du stationnement et pour améliorer la fluidité du trafic en centre-ville.

La fixation du montant du forfait post-stationnement étant désormais à la discrétion de la commune - mais ne pouvant dépasser le tarif du stationnement pendant la durée maximale de stationnement - c'est une manne financière possible qui peut donc aider à consolider le budget de la commune, avec un retour sur investissement assez rapide par rapport au coût des capteurs déployés - typiquement quelques euros ou dizaines d'euros par capteur pour la simple détection de la présence d'un véhicule garé. Il faut néanmoins tenir compte des coûts de déploiement et du coût complet du système - dont le réseau de connectivité.

Des applications permettant aux usagers de trouver plus rapidement une place de stationnement ont également été testées. Nous n'avons pas eu sur ce point de retour d'expérience positif (l'expérimentation du boulevard connecté de Nice n'a ainsi pas été maintenue).

#### **L'EXEMPLE DE SAINT AMAND MONTROND :**

La commune de Saint Amand Montrond est une commune de près de 10 000 habitants située dans le Cher. Elle porte un objectif de fluidification du trafic en centre-ville pour favoriser les rotations sur quelques places de stationnement-minute à proximité des commerces. Certaines places ne peuvent ainsi pas être bloquées plus de quelques minutes : dans le cas contraire, les services de la ville reçoivent une notification grâce aux capteurs placés dans la voirie. Afin d'inclure cette démarche dans une politique globale cohérente, ceci est allié à une offre de mobilité plus importante : instauration de lignes de bus gratuites, stationnement gratuit hors de ces deux zones de stationnement minute télé-pilotées.

Dans d'autres villes, des systèmes de comptages de véhicules garés par rue, connectés aux horodateurs, permettent également d'optimiser les tournées des agents afin de verbaliser un plus grand nombre de contrevenants et d'inciter au paiement du stationnement à terme.

### **1.1.3 Eclairage intelligent : une possibilité après le passage à un éclairage basse consommation**

Rationaliser l'éclairage public est également souvent un point d'entrée spontané des communes dans les thématiques « intelligentes » - notamment pour les petites et moyennes communes. La fin d'un contrat de marché peut permettre d'adopter de nouvelles solutions, par exemple en testant une expérimentation en lumière LED et éclairage intelligent dans une rue, en phase "démonstrateur" ; technologie pouvant être adoptée et généralisée si la ville est satisfaite.

On doit distinguer le passage à de l'éclairage basse consommation (*e.g.* LED), permis notamment lors d'un renouvellement de contrat avec le prestataire de l'éclairage public, et le fait de rendre "connectées" - au sens de "conscientes de leur environnement" - les ampoules elles-mêmes. Rajouter un détecteur de présence, par exemple, permet d'adapter la luminosité selon le contexte (par exemple, selon si des personnes ou des véhicules passent ou non). La télégestion en temps réel des infrastructures lumineuses permet aussi au prestataire d'optimiser ses opérations de maintenance, en ajoutant un capteur qui transmet l'état - allumé ou non - de la lampe LED ou ampoule, ce qui permet de repérer à distance des dysfonctionnements.

#### **Retour sur investissement :**

La transition à un parc d'éclairage "intelligent" - LED et détecteurs de présence - produit généralement un retour sur investissement très rapide et sûr. Ceci a été estimé dans le rapport du Syntec Numérique [2] pour la ville de Rilleux-La-Pape. Comme nous le

verrons dans la partie 7.3.2, les économies d'énergie peuvent même être garanties dans le cadre d'un contrat de performance énergétique.

Cependant, il est difficile de faire la part entre le gain dû simplement au passage à de l'éclairage basse consommation et le surplus acquis grâce à l'adaptation de la luminosité au contexte local - l'évaluation socio-économique de [2] ne les distingue pas. De plus la mise en place de systèmes d'adaptation de l'éclairage peut déboucher sur une impression de clignotements, peu confortable pour les riverains.

### **Transmettre des informations par la lumière : le LiFi :**

L'éclairage intelligent peut aussi s'entendre comme l'utilisation de la lumière pour d'autres fonctionnalités que celle d'éclairer uniquement : c'est l'idée de la technologie LiFi - "Light Fidelity" - proposée notamment par l'entreprise Oledcomm, grâce à laquelle il est possible de transmettre à un smartphone à proximité, par la lumière de l'éclairage, des informations géocontextualisées ou même d'offrir un accès internet local. Cette technologie est actuellement testée dans certains quartiers démonstrateurs, la pertinence de cet usage reste à démontrer.

#### **QUELQUES EXEMPLES :**

Des collectivités comme Rilleux-la-Pape et la communauté d'agglomération de Paris-Saclay développent des solutions d'éclairage intelligent (Paris-Saclay ayant notamment un démonstrateur LiFi).

### **1.1.4 Contrôle des incivilités par la télé-surveillance**

Parmi les besoins remontés par les communes, la lutte contre les incivilités et la sécurité apparaissent fréquemment. De nombreuses communes installent ainsi des dispositifs de télésurveillance ; caméras connectées par la fibre - étant donné le débit nécessaire pour supporter le flux vidéo - ou enregistrant les images et qui peuvent être visionnées par la suite si besoin - notamment pour les petites et moyennes communes disposant de peu d'agents.

#### **L'EXEMPLE DE SAINT AMAND MONTROND :**

À Saint Amand Montrond, un système de vidéo-protection, permettant d'identifier a posteriori, par la visualisation des enregistrements, les auteurs d'actes d'incivilité ou de délits et de réprimer les actes de délinquance locale, a permis d'atteindre un taux d'élucidation des actes d'incivilité ou de délinquance de 67% - très largement supérieur à la moyenne nationale. De plus, les frais de réparation directement dûs à des actes de dégradation sont passés d'une plage de 25000 à 40000 euros par an à 1500 à 2000 euros par an seulement. La vidéo-protection installée est donc déjà en phase de retour sur investissement.

Cependant, comme nous le verrons par la suite, le choix d'investir dans l'un ou l'autre des dispositifs de télé-contrôle permis par l'Internet des Objets dépend du budget à allouer par la commune, des grandes orientations et choix politiques locaux, et une recette

miracle ne saurait être donnée.

### 1.1.5 Optimisation de la collecte des déchets : une bonne échelle d'application à trouver pour des bénéfices multiples

Un usage fréquemment testé par les collectivités en lien avec des partenaires privés est l'optimisation de la collecte des déchets, notamment pour les silos à verre. Plusieurs entreprises proposent en effet des capteurs à ultrasons (comme E Cube-Labs, voir figure 1.1) qui, posés au-dessus des silos, permettent d'estimer leur remplissage.



FIGURE 1.1 : Schéma de fonctionnement d'un capteur de remplissage Clean CAP - Site du constructeur E Cube-Labs - PME Coréenne spécialisé dans les poubelles intelligentes - [3]

Les retours sur investissement de cet usage sont dépendants de l'échelle d'application et moins directs à calculer - temps de travail des agents, économies de carburant difficiles à quantifier par rapport à un scénario référence.

#### L'EXEMPLE D'ANGERS :

L'exemple de la ville d'Angers qui illustre **la bonne échelle d'application de l'Internet des Objets à trouver** pour qu'une expérimentation soit couronnée de succès. La ville a testé un système d'optimisation des itinéraires de collecte des silos à verre dans l'hyper-centre d'Angers - un opérateur privé ayant équipé ceux-ci de capteurs de remplissage connectés avec un réseau LoRa propre (voir partie 2.2). Cependant, les bénéfices constatés n'ont pas été à la hauteur des attentes de la ville. En effet, du fait d'une fréquentation importante du quartier, les silos étaient toujours remplis. L'impact de la mesure sur les tournées de ramassages était donc très faible. Le même type de mesure dans l'objectif d'optimisation des services de collecte a été effectué pour le ramassage des silos à verre situés en périphérie de la ville - donc beaucoup plus éloignés l'un de l'autre en moyenne. Le remplissage plus hétérogène et moins fréquent des silos a alors permis de dégager de véritables optimisations. Le système s'est donc cette fois avéré rentable.

Au-delà des points d'apport volontaires, on peut envisager un dispositif de pesée des bacs à ordures des habitations privées, qui seraient identifiés par des puces et pesés par les camions de collecte, comme cela a été mis en place par le Grand Besançon. Ce système de suivi personnalisé des poids de déchets est assez simple et indispensable afin d'instaurer un système de redevance incitative, faisant contribuer les citoyens aux charges du service public à la hauteur du poids de déchets qu'ils produisent. Les bénéfices obtenus seraient, d'après [2], majoritairement socio-économiques. Les bénéfices monétaires apparaîtraient à plus long terme seulement. Il faut en effet le temps que le "cycle vertueux" se mette en place : la redevance incitative entraînant une baisse de la quantité de déchets produits, permettrait une baisse des coûts de traitement pour la collectivité. Cette diminution de coûts peut enfin permettre un retour sur l'investissement réalisé pour la mise en place du système de suivi.

Ces systèmes posent cependant des interrogations sur leurs applications à grande échelle, en particulier vis-à-vis de comportements de "passagers clandestins" ou avec peu d'esprit citoyen, comme le remplissage des bacs des voisins, pouvant amener à des inégalités.

### Conclusion partielle :

Ainsi, parallèlement à ces concepts de "ville intelligente" liés à l'énergie, l'éclairage, les déchets, la circulation automobile - *i.e.* l'environnement dans sa globalité - (voir figure 1.2), l'idée de ville intelligente peut aussi être déclinée en "Safe City" : une ville qui rend un service de sécurité dans l'espace public à ses citoyens grâce à la vidéo-surveillance ou des capteurs sur le terrain. La collectivité peut aussi se saisir, de façon plus originale, du thème du contrôle la qualité de l'air ambiant et des ressources vitales. Nous abordons ces aspects de suivi environnemental dans la partie suivante.



FIGURE 1.2 : Différentes applications des objets communicants dans la ville - Site de m2o City - <http://www.m2ocity.com/>

## 1.2 Aide à la décision et évaluation des politiques

L'Internet des objets permet notamment d'acquérir une connaissance fine du territoire. Cette connaissance peut être mobilisée pour faire ou évaluer des choix d'aménagement ou réglementaires. Dans ce cas, le but recherché n'est pas nécessairement un retour sur investissement rapide, pour une direction métier donnée. Les bénéfices issus d'un meilleur diagnostic du territoire peuvent advenir sur le long terme et sous diverses formes.

### **QUELQUES PROJETS IOT POUR L'AIDE À LA DÉCISION ET L'ÉVALUATION DES POLITIQUES :**

- **Projet Rouen Ville Respirable en 5 ans** - Rouen [en cours d'avancement]
- **Projet de monitoring urbain environnemental de Nice Plaine du Var** - Nice [opérationnel]
- **Suivi de la qualité de l'air extérieur (capteurs mobiles) et intérieur** - Saint Amand Montrond [opérationnel]
- **Optimiser l'arrosage pour limiter l'effet d'îlot de chaleur urbain** - Métropole de Lyon [expérimentation]

### 1.2.1 La qualité de l'air locale : des coûts de maintenance importants et un compromis entre performance et nombre de capteurs à trouver

#### **Qualité de l'air extérieur :**

L'objectif poursuivi, en équipant l'espace urbain de capteurs de qualité de l'air, est d'informer les citoyens sur la qualité de l'air qu'ils respirent, sur le modèle d'un service public, sans espérer de rentrées monétaires de court terme. Les conséquences des choix d'aménagement sur la pollution ambiante peuvent également être estimées, si l'outil de mesure est suffisamment précis, ce qui peut constituer un outil d'aide à la décision - voire d'évaluation de choix de politiques publiques a posteriori.

Des problématiques peuvent advenir si la collectivité choisit d'encourager le déploiement de capteurs de qualité de l'air connectés - dans le but d'afficher l'information en temps réel - notamment pour les grandes villes où la qualité de l'air est globalement mauvaise. L'outil d'information mis à disposition par la collectivité peut alors se retourner contre elle si elle affiche les données recueillies, les moyens d'action contre la pollution restant assez faibles.

## QUELQUES EXEMPLES :

- À **Saint Amand Montrond**, une centaine de capteurs mobiles de qualité de l'air à l'extérieur ont été déployés ;
- À **Grenoble**, dix microcapteurs ont été placés sur les tramways pendant trois mois à titre expérimental afin de repérer des épisodes de pollution ponctuelle aux particules fines, de diamètre inférieur ou égal à  $10\ \mu\text{m}$  et à  $2,5\ \mu\text{m}$  - expérimentation GreenZen Tag ;
- La **Communauté d'Agglomérations Paris Saclay** envisage un suivi de la qualité de l'air, notamment pour contrôler les effets induits par les nombreux projets d'aménagement en cours ;
- À **Paris**, l'expérimentation conduite sur la place de la Nation à l'initiative de CISCO dans le cadre d'une convention d'occupation du domaine public, précédant le ré-aménagement de la place par la Ville, a mis en place des mesures de qualité de l'air. À partir des données de variations des concentrations des différents polluants, un indicateur de qualité de l'air entre 1 et 10 a pu être défini pour chaque polluant : CO,  $\text{NO}_2$ ,  $\text{O}_3$ , PM10 notamment. Une corrélation a été recherchée par CISCO entre pollution - données des capteurs de qualité de l'air - et flux de véhicules, mais aucune n'a été trouvée. Cependant il a été observé que certaines zones de la place sont plus polluées que d'autres indépendamment du trafic, ce qui semble confirmer l'aspect très local de la pollution, même à l'échelle d'une place. Les données recueillies n'ont pas été suffisamment univoques pour constituer une aide à la décision pour l'aménagement de la place, et un travail en collaboration avec la ville de Paris sur un positionnement plus optimal des capteurs et sur les objectifs de l'expérimentation aurait été nécessaire.

Il existe deux modèles principaux d'instrumentation de l'espace afin d'en déduire la qualité de l'air localement. Ces deux modèles s'opposent, ce qui est le témoin du **compromis à trouver entre nombre de capteurs et performances** de ces derniers :

- un modèle comme celui d'AirParif avec quelques stations de mesures seulement, mais très précises sur les concentrations de polluants mesurées, et une interpolation sur tout le territoire grâce à un algorithme et un couplage avec les données météorologiques, de trafic, et si possible de morphologie des rues et des bâtiments.
- un modèle avec une instrumentation massive : de nombreux points de mesures, avec une précision sur les concentrations limitée mais compensée par un algorithme très performant et une calibration pour en déduire la qualité de l'air en tout point, en couplant également avec le trafic automobile en temps réel. La start-up Breezo-Meter, qui a calculé la qualité de l'air autour de la place de la Nation pendant l'expérimentation, se positionne sur ce créneau.

Le premier type de modèle peut aboutir à une prévision de la qualité de l'air moins précise localement : par exemple au sein même d'une rue, la qualité de l'air varie énormément d'un point à un autre ce qui n'est pas englobé par le modèle. A l'opposé de ce type

d'instrumentation et de méthode d'extrapolation, la start-up Plume Labs, par exemple, s'attache à définir et mesurer une qualité de l'air très locale, en récoltant des informations selon un modèle collaboratif, grâce à ses clients qui emmènent leurs capteurs de pollution connectés lors des trajets à pied - ce qui permet d'interpoler la qualité de l'air d'autant plus facilement sur toute la ville que le nombre d'adeptes croît et que ceux-ci sont mobiles.

Le second type de modèle, avec plus de capteurs disposés dans l'espace public, a en effet l'avantage de pouvoir comparer les résultats des calculs d'interpolation à de nombreuses mesures expérimentales sur le terrain. Cependant, ce modèle génère aussi des problématiques : le coût des capteurs reste élevé malgré la miniaturisation - les mesures en milieu ouvert restant compliquées, sur des faibles teneurs de molécules qui plus est - et une maintenance importante est à prévoir. La durée de vie des solutions actuelles excède rarement quelques mois en l'état des technologies, ce qui pose des problèmes de coût et de nuisances dues à la maintenance et au déploiement, dans l'esprit d'une instrumentation massive de l'espace urbain. Ainsi, à titre d'exemple, les capteurs de qualité de l'air de la start-up Libelium (voir figure 1.3) déployés dans l'expérimentation de la place de la Nation contiennent trois sondes (voir la photo suivante, les sondes sont les tuyaux dépassant du boîtier). Chacune de ces sondes réalise la mesure pour des polluants différents. Ces sondes représentent 50 à 75% du prix d'investissement de l'ensemble de l'installation. Or ces sondes ont une durée de vie de 6 mois, elles doivent donc être remplacées ce qui impose un coût de maintenance important et régulier. Les coûts de déploiement et les coûts de maintenance dans l'IoT sont en général très élevés et doivent être anticipés.

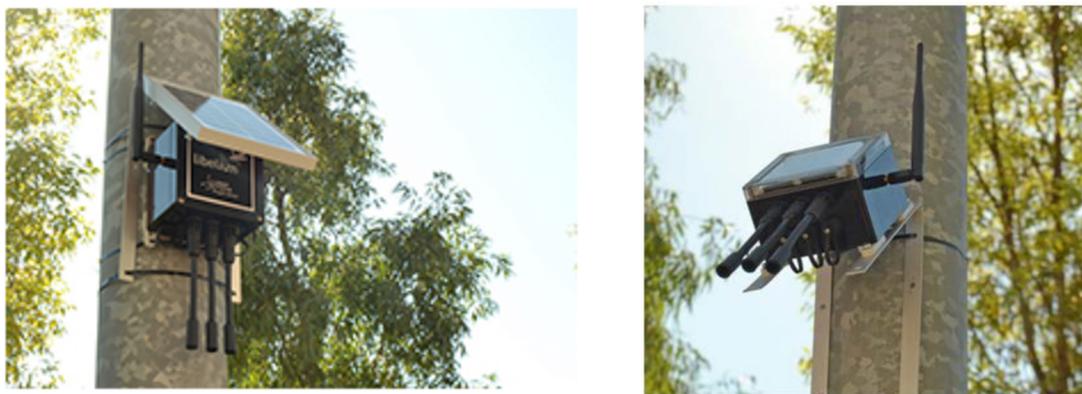


FIGURE 1.3 : Image d'un capteur de qualité de l'air (particules fines,  $O_3$ ,  $NO_2$ ) - Site du constructeur : Libelium - <http://www.libelium.com>

Enfin, la fiabilité des analyses réalisées par les micro capteurs de qualité de l'air est encore discutée - malgré les progrès constants -, notamment pour les concentrations de  $CO$ ,  $NO_2$ ,  $O_3$  - plus que pour les particules fines dont il est possible d'estimer la concentration avec un filtre. Les techniques traditionnelles étant basées sur la spectroscopie impliquent souvent la présence d'un dispositif optique - rayonnement dans l'infrarouge - et peuvent difficilement être mises sous forme d'un dispositif de mesure compact.

De plus, **un compromis advient entre quantité de données mesurées (puis transmises) et autonomie du capteur** : il est nécessaire d'aborder la notion d'ins-

trumentation "en temps réel" avec précaution. Pour instrumenter massivement l'espace urbain, ou en tout cas placer un nombre suffisant de capteurs, les capteurs doivent fonctionner sur batterie ou grâce à système de récupération d'énergie local - petit panneau photovoltaïque pour les capteurs de Libellium, par exemple - dimensionné à la consommation énergétique nécessaire mais sans nécessiter un raccordement à l'alimentation électrique - qui n'est pas l'esprit du déploiement des objets connectés de type capteurs et impliquerait un surcoût très important et une plus forte complexité d'implantation. Or, les analyses des gaz par le boîtier du capteur, tout comme la transmission des données, sont gourmandes en énergie. Sur la place de la Nation, le pas de temps entre deux mesures a dû être étendu à 15 minutes pour des raisons d'autonomie. Une mesure des polluants dans l'air toutes les 15 min est-elle toujours représentative et utile ? Est-ce une mesure "en temps réel" adaptée à cet usage ? Ces questions semblent légitimes au regard de la philosophie de déploiement de capteurs autonomes, fonctionnant sur batterie, avec des performances de mesure à atteindre qui sont parfois trop énergivores.

### **Qualité de l'air intérieur :**

La mise en place de capteurs de qualité de l'air en intérieur est moins fréquente mais plusieurs villes l'ont engagée notamment dans les crèches et les écoles. Ceci en anticipation d'une probable future réglementation sur des teneurs seuils à respecter en intérieur dans les bâtiments recevant du public, à la fois pour le dioxyde de carbone - comme indicateur de confinement et d'aération - et pour une dizaine de composés organiques volatils (COV) comme le formaldéhyde ou le benzène, présents dans de nombreux produits dérivés, synthétiques et plastiques du quotidien. L'Autorité Nationale de Sécurité Sanitaire de l'Alimentation, de l'Environnement et du Travail (ANSES) travaille sur la définition de tels seuils réglementaires ; les Autorités Régionales de Santé (ARS) et les pouvoirs publics ayant eu très récemment des épisodes critiques à gérer liés à la pollution intérieure dans des écoles publiques à certains composés volatils provenant de sols pollués - de nombreuses écoles ayant été bâties sur d'anciens sites industriels aux sols non dépollués.

Ce type de choix peut à la fois être difficile à porter politiquement si la qualité mesurée est mauvaise, mais le fait de disposer de l'information peut aider à orienter certaines décisions ou choix d'aménagement de génie urbain - bouches d'aération, etc.

### **QUELQUES EXEMPLES :**

- La ville de **Saint Amand Montrond** a pu instrumenter plusieurs écoles et crèches ;
- A **La Défense**, l'établissement d'aménagement EPADESA est en phase de réflexion pour placer des capteurs de qualité de l'air en souterrain, au sein de la gare RER et à des endroits bien choisis - via un partenariat d'innovation avec un laboratoire de recherche.

### 1.2.2 Nuisances sonores : une possible remontée de données collaborative

Au-delà de la qualité de l'air, les nuisances sonores peuvent être contrôlées par la collectivité afin de préserver une qualité de vie aux habitants.

#### QUELQUES EXEMPLES :

- A **Saint Amand Montrond**, une application collaborative téléchargée par les citoyens leur permet d'enregistrer un niveau sonore, qui est transmis automatiquement aux services de police de la ville en cas de niveau anormalement élevé, ce qui permet d'identifier rapidement la source du problème ;
- A **Nice**, dans l'Eco-Cité de la Plaine du Var, une expérimentation analogue est en cours aux abords de bars ;
- **L'expérimentation de la place de la Nation** a permis d'identifier des "signatures" de bruit propres à certains jours, grâce aux mesures des sonomètres, sans qu'une réelle corrélation entre flux de véhicules et niveau sonore soit établie.

### 1.2.3 Adaptation au changement climatique : économiser la ressource en eau

Bien que très peu répandue, une application de l'internet des objets testée actuellement à Lyon nous a semblé intéressante. Il s'agit d'optimiser l'arrosage des arbres pour minimiser l'effet d'îlot de chaleur urbain (ICU) grâce au phénomène d'évapotranspiration. Il s'agit donc ici d'adaptation au changement climatique.

#### L'EXEMPLE DE LYON :

À Lyon, des capteurs d'humidité, de température, d'activité et de santé de l'arbre ont été installés sur des arbres en centre-ville afin de mettre en place un système d'arrosage intelligent qui utilise au mieux la ressource en eau et minimise l'effet d'îlot de chaleur urbain. Le dispositif est actuellement en phase d'expérimentation, afin de déterminer l'impact réel de l'arrosage sur l'îlot de chaleur urbain.

### 1.2.4 Évaluation et régulation du trafic routier : des données existantes à valoriser

La connaissance des flux routiers, qui peut être plus précise grâce à l'Internet des Objets, constitue une aide à la décision pour de nouveaux aménagements de voirie, et permet de mieux réguler le trafic. Connaître précisément l'état du trafic en temps réel peut permettre d'optimiser le laps de temps entre feux rouges afin de fluidifier le trafic. Deux stratégies différentes peuvent être déployées dans ce but : l'instrumentation ou le partenariat avec

des acteurs possédant déjà la donnée (opérateur mobile ou application type Waze).

Il est également intéressant de coupler deux types de données de nature différentes (trafic et qualité de l'air par exemple), ce qui constitue une véritable mine d'information pour l'IoT - mais pose également des questions au sujet de la gouvernance traditionnelle en silos métiers.

#### **QUELQUES EXEMPLES :**

- À **Rouen**, dans le cadre du projet "Villes respirables en 5 ans", le trafic a pu être réorienté en fonction des données mesurées par les capteurs de qualité de l'air devant une école, ce qui a eu pour effet d'améliorer la qualité de l'air devant l'établissement grâce à ce couplage entre données de trafic - et contrôles à distance des pas de temps entre feux rouges - et données environnementales. Cet usage peut être répliquable dans des villes de taille moyenne, avec une instrumentation en qualité de l'air de bonne qualité et une possibilité de désengorgement de certains axes routiers de la ville ;
- À **Paris Saclay**, une expérimentation a été menée avec un opérateur mobile, qui ont accès aux positions des téléphones de leurs clients. Ainsi, une fois ces données anonymisées, les flux de personnes peuvent être simplement estimés par la collectivité, ce qui peut aider à repérer des congestions systématiques, à cause d'horaires de travaux, de disposition de la voirie, ou de mauvais signalements par exemple. On remarque ici qu'il s'agit d'utiliser des données déjà existantes, mais pas encore valorisées, sans avoir à instrumenter pour produire de nouvelles données. Cependant cette solution n'a pas été déployée à grande échelle à cause de son coût trop élevé.

## 1.3 L'internet des objets au service des citoyens

L'internet des objets peut également avoir des bénéfices directs pour les citoyens. Cependant, on observe que dans la majorité des projets IoT développés dans les villes françaises, le citoyen n'est pas au centre de la démarche. L'IoT est d'abord pensé comme un moyen d'améliorer l'efficacité de l'action publique (voir la partie 1.1). Le citoyen, l'utilisateur n'intervient que dans un second temps, et de manière indirecte. Ainsi, le citoyen bénéficiera de l'amélioration de l'action publique induite par l'utilisation de l'internet des objets : un trafic plus fluide, un stationnement facilité, etc. On peut également noter bien entendu un meilleur contrôle de sa consommation énergétique.

On trouve relativement peu de projets IoT développés au bénéfice direct de l'utilisateur et du citoyen. Les plus notables parmi ceux dont nous avons entendu parler au cours de notre étude sont ceux qui visent à améliorer l'accès aux données et à l'information pour l'utilisateur. Au sein de la filière de l'internet des objets, une grande majorité de la valeur est captée par les couches hautes (*i.e.* les couches de traitement de la donnée et applicatives), l'intérêt d'un internet des objets étant de produire non seulement de la donnée, mais surtout de l'information nouvelle, plus fiable et – si possible – en temps réel. Un certain nombre de villes cherchent à mettre à la disposition des citoyens ces données.

### **QUELQUES PROJETS IOT DIRECTEMENT AU SERVICE DES CITOYENS :**

- **Application «Nantes dans ma poche»** - Ville de Nantes [opérationnel]
- **Plateforme de visualisation des données de consommation et de confort** - Ville de Saint Sulpice la Forêt [en projet]
- **Capteurs de pollens** - Nice [expérimentation]

### 1.3.1 L'accès aux données générées par la ville : les plateformes Open Data

Depuis la loi NOTRe de 2015, les villes de plus de 3500 habitants ont l'obligation de mettre les données publiques en ligne à la disposition des citoyens. Ces plateformes rassemblent un certain nombre de données, souvent brutes.

L'utilité pour le citoyen lambda est donc assez réduite. Ce type de plateforme est plus utile aux acteurs économiques et académiques, puisqu'elle permet de favoriser l'innovation et la recherche. Certaines collectivités imaginent même développer ces outils pour aller jusqu'à la couche du capteur : les acteurs privés pourraient avoir accès à la liste des capteurs présents dans la ville, avec leurs caractéristiques techniques et contextuelles, voire interagir directement avec ces capteurs.

### 1.3.2 Améliorer l'expérience de la ville

Comme on vient de le voir, les plateformes Open Data n'ont qu'un intérêt limité pour l'utilisateur de la ville, puisqu'elles rassemblent pour l'instant majoritairement des données brutes. Certains projets visent à mettre à disposition des usagers l'information générée par les données que possède la ville, en temps réel. Il peut s'agir d'informations concernant les services municipaux, la mobilité, les événements, les équipements publics, etc.

Au-delà d'avoir accès en ligne à ces informations, l'internet des objets laisse également entrevoir une communication directe entre les objets connectés et les usagers. Les objets connectés pourraient ainsi fournir des informations temps réel et géocontextualisées.

C'est ce que proposent de faire les acteurs prônant l'installation de « beacons », émettant à courte portée grâce à un signal Bluetooth et permettant de « réveiller » des applications préalablement installées dans le smartphone de l'utilisateur lorsqu'il passe à proximité. Les iGirouettes de la société Charvet Digital Media, en cours d'expérimentation à Lyon, visent également à fournir aux usagers une information contextualisée. Il s'agit de panneaux indicateurs orientables et à messages variables, dont l'indication peut être modifiée en fonction du contexte, par exemple lors d'un événement (voir figure 1.4). Il semble cependant que les usages pertinents de tels objets connectés n'aient pas encore été identifiés et qu'ils restent assez flous.



FIGURE 1.4 : Image d'une iGirouette à Lyon - *Charvet Digital* - [www.charvet-digitalmedia.com](http://www.charvet-digitalmedia.com)

## QUELQUES EXEMPLES :

- **Nantes métropole** a développé une application centralisant un grand nombre d'informations sur les services de la ville. « Nantes dans ma poche » permet d'accéder aux horaires des transports en temps réel et à l'arrêt de son choix, aux informations concernant les cinémas, les piscines, les écoles, la qualité de l'air, etc. L'application est téléchargeable gratuitement et personnalisable. Elle semble avoir rencontré un certain succès, ce qui lui a valu d'être primée aux Victoires des acteurs publics en 2015.
- **La métropole de Lyon** s'est lancée dans le domaine de la mobilité, avec l'application Optimod'Lyon. Il s'agit d'un « GPS urbain multimode », permettant de calculer ses déplacements quel que soit le mode utilisé (marche à pied, vélo, bus, métro, tramway, voiture). Malgré le caractère unique et innovant de cette application, il semble qu'elle ne rencontre qu'un faible engouement de la part des usagers. Cela montre les limites de telles initiatives face aux géants de la donnée que sont, par exemple, Google et Waze, ou des applications développées par des acteurs privés existants à l'échelle internationale comme Citymapper.
- **A Saint Sulpice la Forêt** (projet présenté au paragraphe 1.1.1), la commune va bientôt mettre à disposition des citoyens une plateforme de visualisation des données énergétiques et contextuelles de ses bâtiments. Elle permettra à chaque citoyen, et en particulier aux usagers desdits bâtiments, de suivre la consommation et le service rendu en termes de confort. La commune cherche par ce moyen à impliquer ses citoyens en les sensibilisant et en créant une émulation grâce au système d'étiquette énergétique.

### 1.3.3 Santé

Les systèmes mettant à disposition les données de qualité de l'air (voir la partie 1.2.1) visent - en plus de permettre à la collectivité d'évaluer les impacts de ses politiques - à informer les usagers des risques sur la santé. Cet usage reste cependant, dans la plupart des cas, purement informatif pour le citoyen, qui ne peut pas forcément adapter son comportement. En revanche, ces données lui donnent un pouvoir plus fort face à la collectivité pour exiger des actions.

## L'EXEMPLE DE NICE :

A Nice, des capteurs de pollens très performants - coûtant de l'ordre de dizaines de milliers d'euros par capteur - ont été déployés et achetés ensuite par la ville sur le modèle de quelques capteurs très performants et une confiance dans l'extrapolation locale par les algorithmes - les données étant accessibles via l'application Urban Pulse. L'objectif est de prévenir la population du risque d'allergies, afin que les allergiques puissent adapter leurs comportements (trajets, promenades, etc.) en conséquence.

## 1.4 Les smart grids : mieux connaître les consommations et s'adapter à un mix énergétique décentralisé pour des économies conséquentes dans le futur

Si l'on prend la définition d'EDF, les smart grids sont *"des réseaux « intelligents » qui optimisent la production, la distribution, la consommation pour mieux mettre en relation l'offre et la demande d'électricité"*. Par l'utilisation de nouvelles technologies, et en particulier de compteurs dits intelligents comme Linky en France, le réseau électrique pourrait ainsi être piloté de manière plus efficace, en intégrant au mieux les nouveaux usages (comme les voitures électriques, l'autoconsommation, le stockage local sur batterie ou hydrogène) et en prenant en compte l'intermittence des énergies renouvelables, avec une approche plus décentralisée.

Les bénéfices seraient ainsi de plusieurs ordres. Premièrement, l'afflux de données collectées avec les compteurs permet d'avoir une meilleure vision du réseau électrique ou plus simplement du quartier dans lequel la smart grid est implantée. Ainsi, Bouygues Immobilier, en tant que promoteur immobilier, a lancé un projet de Smart Grid en 2011 à Issy-les-Moulineaux, Issygrid, qui a permis à ses équipes de monter en compétences sur ce sujet. L'entreprise avait alors pour objectif de faire remonter en temps réel toutes les données énergétiques du quartier : cela lui a alors permis d'avoir une meilleure vision sur les puissances de consommation mais aussi d'intéresser directement les consommateurs, qui ont alors une vue plus complète de leur utilisation d'électricité. Les objectifs à termes sont à la fois d'optimiser la construction du quartier mais aussi de garantir des consommations plus faibles au consommateur et ainsi pouvoir développer un marketing énergétique sur le quartier.

Dans un second temps, les données recueillies donnent un aperçu général de la consommation d'électricité du quartier et permettent donc d'optimiser le dimensionnement du réseau. L'opérateur immobilier peut alors adapter au mieux le réseau de distribution et faire baisser ses coûts d'installation : il évite ainsi le surdimensionnement - dû à une mauvaise appréciation du pic de demande - et les surcoûts afférents. A l'échelle du consommateur, ce dernier devient plus acteur de son utilisation d'électricité. En connaissant mieux son utilisation réelle d'électricité, il peut réguler lui-même sa consommation pour diminuer sa facture d'énergie ou éviter les pics de consommation. Enfin, l'ajout d'énergies renouvelables et donc intermittentes dans la production d'électricité est facilitée par cette nouvelle technologie en favorisant les "échanges" d'énergie entre consommateurs et producteurs, - notamment à l'échelle de quelques bâtiments ; commerciaux et résidentiels - tout en garantissant l'équilibre offre-demande. Les Smart Grids permettent alors de comptabiliser au mieux l'électricité produite pour permettre une rémunération au meilleur prix en cas de revente de la surproduction d'électricité. Cette utilisation de la Smart Grid peut être grandement facilitée par la technologie blockchain qui, par son système de registres distribués, permet d'avoir une comptabilisation, non falsifiable, en temps réel et accessible à tous, des productions et des consommations d'énergie par tous les acteurs ainsi que les échanges monétaires s'y rapportant. Ainsi, le développement des Smart Grids favoriserait l'introduction d'un véritable marché de l'électricité à l'échelon local.

Cependant, comme l'admet elle-même la Commission de régulation de l'énergie, le

cadre réglementaire actuel, malgré la récente loi sur l'autoconsommation de 2017, ne permet pas une généralisation à très large échelle des Smart Grids car ceux-ci ne permettent pas encore de réaliser des bénéfices importants pour tous les acteurs du secteur (installateur du réseau, distributeur, producteur...). Néanmoins, les initiatives se multiplient pour tester cette nouvelle technologie qui se concentre principalement sur l'optimisation de la consommation énergétique, à l'échelle d'un groupe de bâtiments seulement pour l'instant, ou la visualisation et la maîtrise de la consommation pour repérer les anomalies et modérer éventuellement sa consommation.

#### QUELQUES EXEMPLES :

- **Issygrid** a permis d'avoir une meilleure vision de l'efficacité énergétique de ses bâtiments à énergie positive et de la consommation des éco-quartiers que la compagnie construit (voir figure 1.5) ;
- l'optimisation de consommation d'électricité réalisée par la ville de **Saint-Sulpice la Forêt** qui a permis de réaliser des économies de fonctionnement substantielles (voir suite du rapport) par l'ajout de capteurs pour suivre la consommation. Les mêmes méthodes ont aussi été mises en place à Saint-Amand Montrond ou d'autres villes de plus grande taille pour limiter les consommations énergétiques ;
- le projet de **Lyon-Confluence**, qui semble être celui le plus important à ce jour, où le Grand Lyon s'appuie sur une agence para-gouvernementale japonaise (le NEDO) et un consortium d'acteurs industriels (comme Toshiba, Bouygues Immobilier ou Transdev) pour développer une Smart Grid qui regrouperait les problématiques du bâtiment, du transport et de l'énergie. Une plateforme serait ainsi mise en place par ce consortium créé en 2016 pour gérer les données énergétiques à l'échelle d'un quartier de La Confluence pour piloter et équilibrer le réseau en fonction des multiples usages fournis (bâtiments à énergie positive, service d'autopartage de véhicules électriques...) mais elle n'est pas encore pleinement opérationnelle.

En conclusion, la "Smart Grid", via les compteurs communicants, est une condition nécessaire mais pas suffisante pour réaliser des économies et avoir un retour sur investissement rapide. L'investissement est néanmoins à la charge d'Enedis et non directement de la collectivité, et les projets d'optimisation du dimensionnement du réseau et d'adaptation au nouveau mix énergétique décentralisé permettent d'envisager un ROI lointain mais très grand, généralisé à tout le pays et non cloisonné à un secteur d'activité particulier. D'autres pistes existent également comme le stockage local sur batteries pour éviter un surplus d'export et d'import d'électricité sur le réseau.



FIGURE 1.5 : City DashBoard / Tableau de Bord Embix - *Dossier de Presse IssyGrid* Avril 2016 - *Bouygues Immobilier* - <https://www.bouygues-immobilier-corporate.com>

## 1.5 Développer une infrastructure intelligente pour le véhicule autonome

Les nouveaux usages des véhicules et les nouvelles mobilités (véhicule autonome, covoiturage, nouveaux modes de transports...) amènent à repenser la conception des nouvelles routes et la restauration des routes existantes. Le cadre juridique n'a en effet que très peu évolué depuis les années 1980 (notamment en termes de concessions d'autoroutes et de règles de conception et de dimensionnement des routes), à une époque où celles-ci étaient dimensionnées par rapport au véhicule individuel. Les effets collectifs apparaissant à partir d'un certain seuil d'utilisation (congestions ou simplement diminution des distances entre voitures due à la saturation du trafic) ne sont pas correctement considérés.

Ainsi, la route 5ème génération vise justement à internaliser ces externalités non pensées dans les routes des générations antérieures, étant donné de plus que le véhicule change maintenant de nature : l'unité de base sur laquelle est dessinée la route du futur devient le système complexe composé de toutes les voitures qui circulent, avec le déploiement en particulier des véhicules autonomes, intégrant aussi d'autres paramètres comme la destination, la provenance, la vitesse et les caractéristiques individuelles précises des voitures (par exemple la pollution moyenne émise). Il s'agit de tendre donc d'une part vers une route instrumentée, à même de permettre une gestion systémique, et d'autre part de connecter les voitures entre elles et au centre de contrôle central. Les données doivent ici être analysées en temps réel, grâce à la future connectivité 5G par exemple, très fiable et à très haut débit comme nous le verrons plus en détail dans la partie 2.2.

Cette route 5ème Génération peut être vue comme incluse dans la Smart City puisqu'elle concerne en priorité les autoroutes urbaines, mal intégrées dans le paysage et dans

le voisinage, sources de pollution et de nuisances sonores et souvent embouteillées – du fait de la conception de ces axes à l'aune du véhicule individuel seulement et non d'un collectif de véhicules ! Ces domaines sont en effet directement liés aux progrès de la ville intelligente au sens large. Dans ce contexte, l'IFSTTAR (Institut Français des Sciences et Technologies des Transports, de l'Aménagement et des Réseaux) travaille sur l'utilisation de matériaux innovants et de capteurs pour réduire les nuisances liées à ces routes, cherchant par exemple à aider à une maintenance prédictive ou plus ciblée, ou à un "monitoring" environnemental urbain en diminuant les nuisances sonores ou la pollution, mais aussi des opportunités d'utilisation de la surface des routes disponible afin de produire de l'énergie (route solaire).

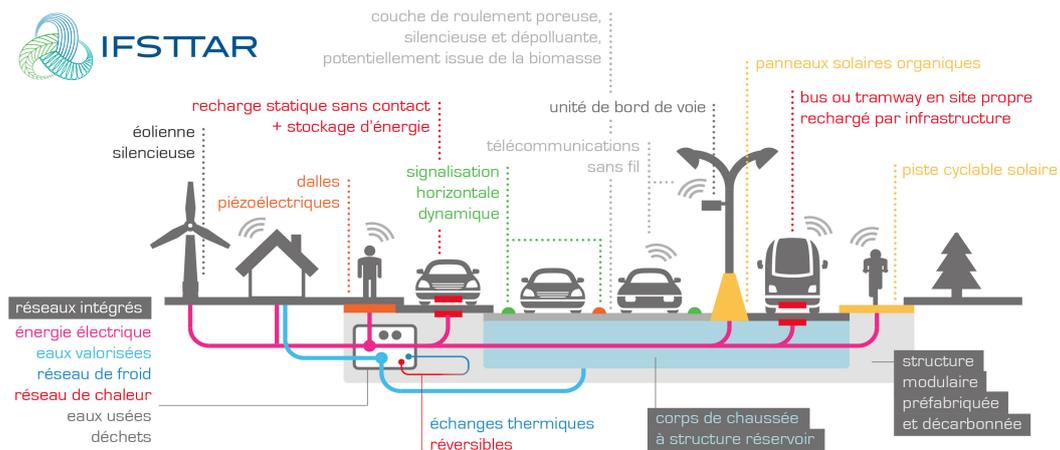


FIGURE 1.6 : Illustration d'un démonstrateur route 5ème génération en zone péri-urbaine -Ifsttar - Dépliant R5G - <http://www.ifsttar.fr/recherche-expertise/nos-grands-projets/r5g-route-de-5eme-generation/>

# Chapitre 2

## Les technologies de l'internet des objets

Nous avons vu dans le chapitre 1 que rendre communicants des objets de la ville, soit déjà présents comme les compteurs, soit nouveaux comme des capteurs disposés dans l'espace public, permettait de faire émerger de nouveaux usages pour mieux connaître, et optimiser si possible, un projet ou un service. Revenons maintenant dans le détail des technologies utilisées, récentes pour la plupart, qui ont pu faire émerger de telles possibilités.

### 2.1 Différents schémas d'architecture

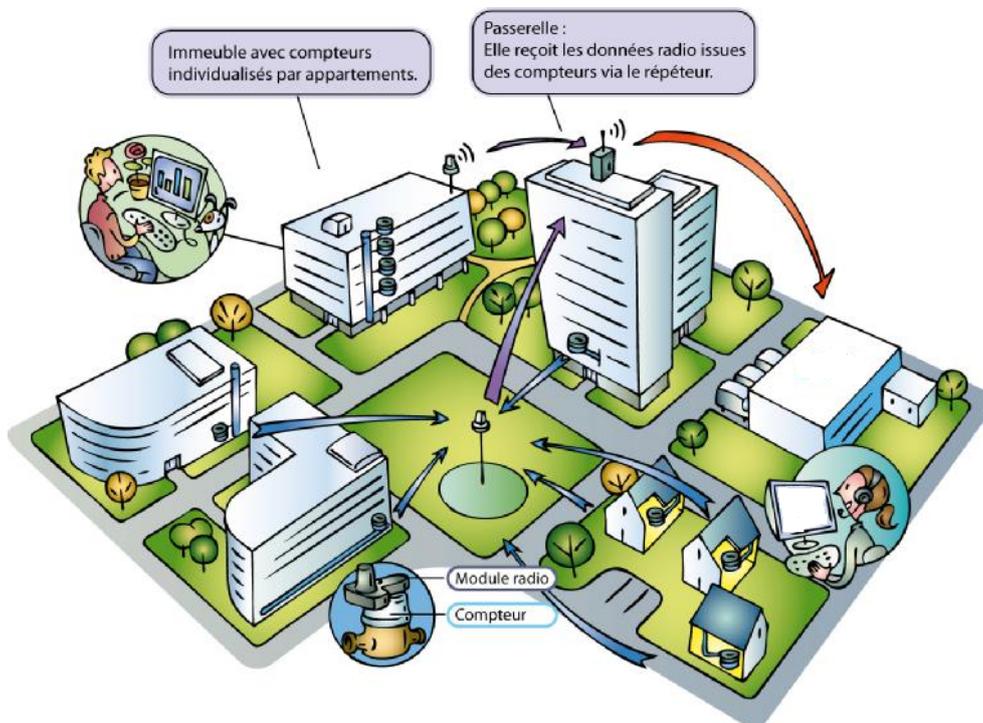


FIGURE 2.1 : Schéma présentant les différents niveaux d'un système internet des objets - Site de Veolia

L'architecture d'un réseau Internet des Objets se compose de plusieurs couches principales :

- **Les objets connectés ou "terminaux"** situés aux extrémités : capteurs, compteurs, objets courants rendus communicants ;

- **Les répéteurs** - éventuellement - permettant de relayer le signal émis par les terminaux vers les antennes ;
- **Les gateways ou "concentrateurs"**, ou encore antennes relais (type LoRa, ou de téléphonie mobile pour un réseau cellulaire) ;
- **Le noeud central ou centrale de télé-relève** récupérant toutes les données remontées. Cela peut constituer un service ou une forme de stockage de type "Cloud".

Remarquons à ce stade que les équipements du réseau, comme des bornes Wifi par exemple, peuvent eux-mêmes devenir des capteurs, puisqu'il est possible de compter le nombre de personnes s'y connectant ou tentant de s'y connecter - ce qui est enregistré dans l'historique de connexion, incluant un identifiant unique de l'appareil. Les villes pourraient ainsi avoir la main – éventuellement par l'intermédiaire d'une entreprise fournissant la connectivité – sur le "fluide" connectivité.

L'architecture d'un réseau IoT est plus ou moins verticale ou horizontale selon que la communication a lieu principalement entre objets connectés ou entre les terminaux et le centre de commande central. Ainsi, dans des réseaux dit maillés, les objets peuvent communiquer entre eux : c'est ce qu'on appelle usuellement le M2M (Machine to Machine). Ce type d'architecture de réseau dense concerne plutôt l'**IoT "actif"**, où les terminaux - souvent mobiles et bénéficiant d'une capacité de recharge - ont des capacités de calcul, d'analyse de données et d'autonomie bien plus importantes que pour l'IoT "passif" d'instrumentation. Ainsi des smartphones ou encore des voitures autonomes, à la fois connectées à un centre de commande central mais qui ont naturellement besoin d'établir des contacts avec les autres voitures autonomes pour la prévision et l'optimisation des trajectoires en temps réel.

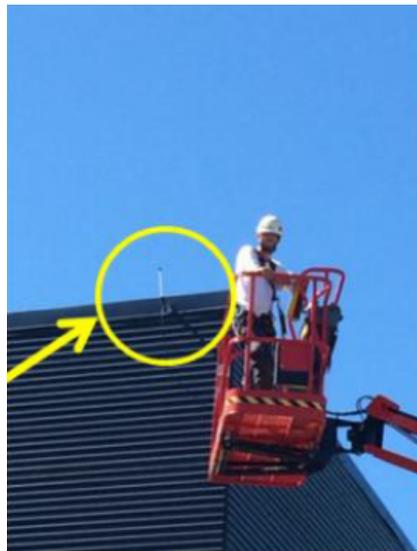


FIGURE 2.2 : Pose d'une antenne LoRa (12 cm de haut) à Saint Sulpice La Forêt - *Smart Saint Sulpice, Présentation de Juillet 2017 aux rencontres des Territoires innovants*

Lorsque la transmission d'information est nécessaire uniquement du terminal vers le centre de commande, on parle plutôt d'un réseau en étoile : schématiquement, un arbre

convergeant des terminaux, aux extrémités des branches, vers un tronc central - par exemple le Cloud - en passant par des antennes relais. Ce type d'architecture de réseau décrit mieux l'**IoT "passif"** *i.e.* les compteurs, capteurs ou objets autonomes en batterie, ce qui est principalement étudié ici.

### **Calculs distribués et analyse des données selon l'architecture du réseau :**

Selon l'architecture du réseau; *i.e.* la manière et la densité avec lesquelles sont reliés objets connectés, antennes et centres de commande entre eux, des possibilités de calculs plus ou moins distribués s'offrent, avec des impacts importants sur le stockage des données et la sécurité du réseau IoT.

**Cloud computing :** Le Cloud-computing consiste à utiliser la puissance de calcul des serveurs distants : les données remontées par les terminaux et relayées par les antennes sont stockées sur différents serveurs puis analysées sur place. Les fournisseurs de services Cloud - comme Orange, IBM ou les GAFA (Google, Amazon, Facebook, Apple) - mettent à disposition différents serveurs, pas nécessairement localisables ni situés au même endroit, mais tous accessibles par Internet et qui peuvent donc stocker des données ou effectuer des calculs puis remonter ensuite les résultats par Internet, en "streaming". L'avantage de ce mode de calcul est indéniable en ce qui concerne les méthodes d'analyse de données de type apprentissage supervisé ou deep learning, qui exigent potentiellement des ressources calculatoires importantes. En stockant et mélangeant différents types de données remontées du terrain, il est également envisageable de les coupler et d'étudier des corrélations impossibles à déceler sans l'outil informatique ni les algorithmes de big-data récents.

**Edge-computing :** Nous avons vu que l'architecture d'un réseau est principalement constituée de 3 niveaux : les objets connectés fixes ou appareils nomades tels que voitures, téléphones portables ou autres terminaux embarqués, les stations relais fixes et les centres de commande. L'idée de la méthode de calcul "edge-computing" est de délocaliser en partie les calculs à effectuer par le centre de commande en utilisant les gateways et terminaux et leur capacité de calcul embarquée. Cela s'adresse donc plutôt à l'IoT "actif" de type voiture connectée, qui a une capacité de recharge importante - les calculs étant gourmands en énergie - et un hardware suffisamment conséquent pour émettre et recevoir un signal tout en effectuant des calculs sur des données. De plus, cela permet de diminuer le volume des données à transmettre aux capteurs, systèmes embarqués ou autres terminaux puisque les résultats de ces calculs ne sont plus centralisés mais en quelque sorte partagés à un niveau plus bas, entre plusieurs terminaux.

**Fog-computing :** Le "fog-computing" est un choix d'architecture de calcul à distinguer du "edge-computing"; calcul distribué qui sépare les tâches entre divers objets connectés aux extrémités du réseau. Le "fog-computing" a par exemple été utilisé par CISCO pour traiter les données récupérées par le sonomètre de BruitParif sur la place de la Nation. L'analyse des données est réalisée entièrement sur place, en partie dans le routeur - modem de CISCO auquel était relié le sonomètre -, *i.e.* déléguée à la périphérie du réseau IoT. Le routeur était lui-même relié à une unité centrale d'ordinateur qui permettait d'afficher les données sur le panneau AmiBruit de la place. Ici, au lieu d'envoyer toutes les données à chaque seconde vers le Cloud, de les y traiter puis de renvoyer l'information utile vers le panneau d'affichage, seules 3 données pertinentes sont à envoyer chaque minute au Cloud pour les stocker - résumant le bruit sur une minute, et obtenues

par l'analyse des signaux de bruit sur une minute, réalisée sur place - ce qui constitue un gain important en bande passante et en capacité de stockage.

Selon le mode de calcul, centralisé ou plus ou moins distribué, l'information sensible - par exemple résultat d'une corrélation poussée entre différents types de données - sera stockée différemment ; soit sur le Data Center, soit de façon partagée entre terminaux et noeud central, ce qui influe sur les possibilités de vol d'information en cas d'intrusion malveillante sur le réseau via la prise de contrôle d'un terminal ou d'une antenne.

## 2.2 Quelle connectivité et quel type de réseau pour quel usage ?

L'offre de connectivité proposée pour remonter l'information utile mesurée par les terminaux dépend directement de la complexité de la mesure elle-même et de l'environnement du capteur, ou compteur, que l'on veut rendre connecté. De nombreux acteurs de l'IoT comme Sigfox parient sur une immense majorité d'objets connectés autonomes, *i.e.* fonctionnant sur batterie ou avec une source de récupération d'énergie locale, sans envisager de raccordement au réseau électrique. En effet, la logique de l'IoT vu comme l'instrumentation in-situ faisant remonter des données de terrain n'est pas de raccorder l'ensemble des objets à l'alimentation. Pour la plupart des capteurs déployés ou testés à l'heure actuelle, le modèle économique d'un tel déploiement ne serait pas viable et la quantité de données remontées serait trop restreinte pour en tirer les informations utiles - puisque le choix de la position d'un capteur branché au réseau serait très limité. En résumé, l'énergie de la batterie sert à deux tâches ; pour les deux parties de l'objet communiquant : effectuer la mesure et l'enregistrer localement, d'une part, et envoyer les informations ainsi recueillies à l'antenne la plus proche, d'autre part. On perçoit ainsi d'ores et déjà le **compromis d'utilisation raisonnable de la batterie entre précision de la mesure elle-même** - plus elle devra être fiable, plus le processus de mesure consommera de la batterie - **et la fréquence d'enregistrement et d'envoi des données** - plus l'on fera remonter les données fréquemment, plus la batterie se déchargera.

On distingue plusieurs grands types d'offres de connectivité existantes ou en projet, qui présentent des caractéristiques différentes, plus ou moins adaptées à chaque usage en fonction des besoins en débit, autonomie, temps de latence, etc. :

- **Une liaison de type filaire** (fibre optique (débit allant jusqu'à 1 Gbit/s), Ethernet (10 Mbit/s)) qui s'adresse à un besoin de débit très important, comme la collecte de flux vidéo de caméras de vidéosurveillance en temps réel - cas de Gif sur Yvette - pouvant ensuite être analysés grâce à des techniques d'apprentissage. L'investissement dans les infrastructures à mettre en place est très élevé.
- **Une technologie cellulaire** via le réseau GSM (2G, 3G, 4G) pour les terminaux de types smartphones ou voitures connectées, ou de type Nb IoT (Narrow Band IoT) ou LTE-M (Long Term Evolution for Machines) pour le réseau cellulaire adapté aux objets connectés basse consommation.
- **Une connectivité bas débit longue portée** type LPWAN (Low Power Wide Area Network) avec une pénétrabilité possiblement forte, "deep-indoor", surclassant

Connectivité	Avantages	Consommation de batterie par l'objet connecté	Pénétrabilité	Fréquence	Portée
NFC, RFID	Détection, suivi d'objets avec puces	Aucune	Non utile	125-134 kHz ou 13.56 MHz (NFC) ou 856-960 MHz	Quelques cm (NFC) à dizaines de m (RFID)
LPWAN	Adaptée aux capteurs et compteurs connectés	Très faible	Très forte	868 MHz (par exemple)	Quelques km
Wifi	Débit important	Forte (alimentation nécessaire)	Faible	2.4 GHz	10 à 100 m
LTE-M, Nb IoT	Standardisées, base d'infrastructures existante	Faible	Forte	Plusieurs possibles	Quelques km
5G	Standardisée, Réseau de base existant, fort débit	Forte (alimentation nécessaire)	Faible	Ondes radio	100 m (antenne-relai)
Filaire	Sûre, fort débit	.	.	.	.

TABLE 2.1 : Récapitulatif des différents types de connectivité et caractéristiques associées

celle des technologies cellulaires. L'alliance autour du protocole LoRaWAN, Sigfox, ou encore Qowiso et Actility se positionnent sur ce marché. Le débit est de l'ordre de 100 bits/s pour Sigfox et de 0.3 à 50 kbit/s pour le protocole de transmission LoRa.

- **Une technologie de courte portée (de 10 à 100 mètres) mais de débit moyen voire élevé**, de type Wifi (quelques dizaines voire centaines de Mbit/s), Bluetooth (2 à 3 Mbit/s), Zigbee (250 kbit/s), qui nécessitent néanmoins un accès internet en arrière plan et utilisent la fréquence de 2,4 GHz.
- **Une technologie d'identification de très courte portée** type Near Field Communication (NFC) ou Radio-Frequency Identification (RFID).
- **Le projet de réseau 5G**, à la fois l'évolution du réseau 4G, tout en constituant une rupture technologique - augmentation du débit offert jusqu'à dix fois. La 5G combinerait des technologies d'antennes MIMO (Massive Input Massive Output) à des ouvertures du spectre fréquentiel au-delà de 6 GHz - voir livre blanc sur l'IoT de l'ARCEP [5] - prioritairement pour des usages nécessitant un débit très important, une forte fiabilité et un faible temps de latence - *e.g.* dans la perspective des voitures autonomes mais ce n'est pas requis pour l'Internet des Objets classique.

Le tableau 2.1 résume sommairement les caractéristiques principales de ces différentes offres de connectivité actuelles ou futures. Le lecteur voulant approfondir ce point pourra

se référer aux récents rapports de l'ARCEP sur l'IoT et la 5G [4, 5]

### **Distinction des technologies selon l'usage que l'on fait de l'objet connecté :**

On peut considérer un terminal ou objet connecté comme un élément sensible qui mesure une propriété - ou diffuse une information, voire agit sur son environnement immédiat pour l'IoT "actif" - et une partie le rendant communiquant : module radio, ou carte SIM par exemple.

Si la quantité de données à remonter est très faible et que des remontées sporadiques suffisent pour un usage donné, une offre de connectivité de type LPWAN (Low Power Wide Area Network) comme LoRaWAN ou celle proposée par Sigfox, est à privilégier. Par exemple, la télérelève des compteurs d'eau ne nécessite pas d'avoir une instrumentation "temps réel" au sens de la seconde près. Une mesure toutes les 24 heures voire toutes les 12h suffit pour avoir un suivi pertinent de l'évolution de la consommation d'eau ou de son bon acheminement dans le réseau - afin de détecter un robinet laissé allumé ou une fuite sur le réseau, par exemple. Par contre, une mesure environnementale de type concentration de polluants dans l'air ne fait sens que si elle est mesurée en continu ou au moins **à une fréquence comparable à la fréquence typique de variation du phénomène** - quelques secondes voire quelques minutes pour la qualité de l'air aux abords d'axes routiers ou en ville. De plus celle-ci varie de façon significative en fonction de l'endroit, à quelques mètres près selon la topographie des lieux, et en fonction des conditions météorologiques. Ce type de mesure reposant sur des analyses physiques complexes - par exemple basées sur des processus optiques ou spectrométriques - , ils demandent une quantité relativement grande d'énergie ; une batterie seule ne suffit pas et il faut généralement envisager une source de récupération d'énergie locale de type piezoélectrique - les vibrations environnantes étant converties en énergie électrique - ou mieux, un petit panneau photovoltaïque adossé, combiné à une batterie.

On remarque que des technologies de connectivité bas débit longue portée "Low Power", sur la fréquence 868 MHz - dans une bande de fréquence libre -, existent depuis de nombreuses années dans le domaine de l'eau ; les opérateurs ou gestionnaires d'infrastructures de réseau d'eau comme Veolia ayant déjà développé leurs propres normes et systèmes de télérelève - étant donnée la difficulté d'accéder à toute la longueur des canalisations, souvent enfouies sous la chaussée - et exploitant à distance quelques dizaines de milliers de compteurs d'eau communicants. C'est l'industrialisation de ce processus, et notamment la volonté de rendre également communicants les compteurs divisionnaires - pour avoir un suivi plus fin du réseau d'eau - qui a amené Veolia à créer sa propre filiale dédiée ; m2o City (voir partie 3.4).

Les compteurs Linky eux ont besoin d'une mesure en temps réel de la consommation énergétique et sont donc raccordés au réseau électrique - ce qui ne demande pas d'infrastructures étant donnée la proximité d'une source de courant - pour répondre aux besoins importants de consommation dus à l'analyse des données en temps réel - bien que celles-ci ne soient envoyées au serveur qu'une ou deux fois par jour.

Pour d'autres usages, la batterie placée initialement dans le capteur connecté suffit à mesurer la grandeur pertinente pendant toute la durée de vie du capteur ; *i.e.* de trois à dix ans pour les capteurs sur le marché. C'est le cas par exemple des capteurs de tempé-

rature ou d'humidité dans des pièces de bâtiments ou dans la route - pour l'optimisation du salage. Dans ce cas, une connectivité de type Sigfox ou LoRa suffira. Non seulement la technologie cellulaire - avec donc une carte SIM et non un module radio comme interface de connectivité de l'objet - ne serait pas adaptée en termes de débit, mais elle déchargerait bien trop rapidement la batterie des objets connectés, obligeant à aller reprendre ceux-ci dans l'espace urbain - ce qui n'est pas acceptable dans l'idée d'une instrumentation assez massive et à des endroits critiques comme au sein de la chaussée. Ce compromis d'autonomie et d'intelligence délocalisée - *i.e.* de qualité de mesure et fiabilité - est donc le coeur de l'IoT.

C'est ainsi qu'est née l'offre de connectivité longue portée, bas débit, adaptée à des objets autonomes non raccordés à l'alimentation et nécessitant seulement un faible débit pour une très faible quantité de données à émettre ou recevoir. Sigfox, par exemple, s'est ainsi engagé dans le contrepied des opérateurs GSM, les objets n'ayant pas besoin et ne pouvant même supporter le trop haut débit entrant des réseaux cellulaires. L'alliance d'acteurs autour du protocole de connexion LoRaWAN adresse en partie le même marché que Sigfox mais utilisant un débit de connexion légèrement supérieur - via une bande passante un peu plus large - mais le signal en Sigfox serait plus sûr et plus facile à démoduler sans perte de signal (d'après notre entretien avec cette entreprise). Le nombre d'objets connectés maximal qu'il sera possible de faire dialoguer presque simultanément avec une antenne Sigfox ou LoRa pourra devenir un critère de distinction déterminant à l'avenir mais dans les deux cas, plusieurs centaines voire milliers d'objets devraient être supportés par une seule antenne. Les deux types de protocoles permettent d'accéder à des compteurs ou objets situés en "deep-indoor", *i.e.* en pénétrant en sous-sol, dans les caves, mal couvertes par le réseau cellulaire mais abritant des infrastructures de réseaux et des compteurs.

Le protocole LoRa permet une communication bidirectionnelle, ce qui peut être important dans un usage éventuel de **tarification différenciée** - voire d'effacement - selon des heures creuses définies en temps réel par le centre de commande, selon la consommation de tout un quartier ou d'une ville ; informations qui pourraient être signifiées aux compteurs communicants via le réseau LoRa.

Les acteurs de l'alliance LoRa, ou encore Qowisio ou Actility, et Sigfox semblent se distinguer par leur modèle économique et leurs positionnements respectifs sur toute la chaîne de valeur de l'IoT, depuis la fabrication des objets connectés - ou non - au traitement des données recueillies pour la fourniture de services. Sigfox, par exemple, ne travaille pas directement avec les collectivités, mais vend ses solutions et sa connectivité à des partenaires intégrateurs qui répondent eux aux appels d'offre des collectivités. Un réseau LoRa quant à lui peut être déployé en "parfum" privé ou opérateur. Les raisons principales ayant donc fait émerger le marché de la connectivité longue portée, bas débit sont l'autonomie limitée des objets - à mettre en regard des coûts de déploiement, d'accessibilité et de maintenance souvent très élevés -, la couverture non suffisante du réseau cellulaire et le coût de la connectivité - négligeable, pour les réseaux LPWAN, par rapport aux autres investissements.

Les technologies dérivées de la 3G et 4G - *i.e.* du réseau cellulaire GSM - applicables à l'IoT témoignent d'une volonté d'utiliser l'infrastructure déjà existante afin de connecter

les terminaux - bien que des investissements supplémentaires seront forcément nécessaires en termes d'adaptation de la connectivité et des antennes. Le développement de technologies comme le Nb IoT, le LTE-M et l'EC-GSM-IoT - toutes trois récemment normalisées "Low Power Wide Area" - sont un moyen pour les grands opérateurs de ne pas manquer le marché de l'IoT qui s'offre à eux, en attendant l'émergence de la 5G. Dans cette vision, les technologies et autres réseaux dédiés à l'IoT déployés jusqu'alors parallèlement aux réseaux de téléphonie mobile existants n'auront plus lieu d'être si une technologie utilisant le réseau cellulaire - et donc pouvant s'inclure dans la 5G - comme le Nb IoT les couvre d'ores et déjà. Cependant, cette bataille ne mettrait pas forcément en danger les opérateurs dédiés à l'IoT à l'arrivée de la 5G si ceux-ci sont suffisamment bien établis sur le marché et ont fait leurs preuves.

Huawei, Vodafone se sont lancés dans la technologie Nb IoT tandis qu'Orange ou Nokia parient sur la technologie LTE-M, tout en consolidant leurs acquis sur le LoRaWAN. Nokia développe des adaptateurs LoRa/LTE-M afin de convertir un signal LoRa en LTE-M et le rendre ainsi interopérable avec son réseau cellulaire, d'autres acteurs comme Orange envisageant également une complémentarité entre LTE-M et le protocole LoRa. Une course à la standardisation se profile sans doute à l'avenir, la technologie ayant fait ses preuves la première étant susceptible de définir le standard, évinçant ainsi toutes les technologies non-interopérables qui avaient été développées en parallèle.

Les technologies très récentes Nb IoT et LTE-M intègrent les communications à bande étroite sur un réseau cellulaire - typiquement pour le LTE-M, 1.4 MHz de bande passante utilisée sur 20 MHz de bande passante attribuée aux communications mobiles 4G -, ce qui est une première. En effet, la vitesse de décharge de la batterie due à l'émission du signal est principalement dépendante de la largeur de bande allouée au signal. Ainsi, la technologie d'émission "Ultra-Narrow Band" (bande ultra étroite, de 200 Hz de large) de Sigfox permet de minimiser l'énergie nécessaire à l'envoi du signal, pour une même quantité de données - la technologie LoRa consomme légèrement plus de batterie à quantité de données envoyée égale, mais peut supporter des messages plus longs.

### **La mutualisation des infrastructures de connectivité : un idéal à souhaiter ?**

Lorsque différents réseaux sont déployés pour répondre en parallèle aux usages mentionnés dans la partie 1, la question de la mutualisation des infrastructures se pose, que ce soit pour les infrastructures de connectivité (antennes, gateways) ou pour les plateformes de remontée de données ou serveurs de stockage. Par exemple, dans la plupart des villes, on assiste à un développement en silos des réseaux LoRa installés par différentes entreprises délégataires de service public (DSP) : un réseau correspond à un service uniquement. La mutualisation des antennes de type LoRa - qui sont très largement sous-exploitées en termes de nombre d'objets connectés reliés - serait par exemple une solution plus économique. Cependant on peut s'interroger sur la pertinence d'une telle agrégation à ce stade, et certaines villes comme Lyon préfèrent laisser faire le marché afin que la meilleure technologie soit sélectionnée avant de pouvoir la choisir pour mutualiser les usages.

La mutualisation des infrastructures sans mutualisation des usages et des capteurs peut soulever des difficultés d'interactions. En effet, dans ce cas deux solutions se présentent. Soit l'infrastructure est la responsabilité de l'un des prestataires en charge d'une politique IoT, soit la collectivité déploie en propre, ou avec un prestataire indépendant,

l'infrastructure. Dans les deux cas, si un dysfonctionnement, une perte de données ou faiblesse du signal apparaît sur le réseau, la collectivité aura des difficultés à identifier le responsable et cela pourrait poser des difficultés pour assurer le bon fonctionnement de la politique.

Le plus haut degré de mutualisation des réseaux et plateformes de remontée et de gestion de données métiers correspond aux hyperviseurs ou "control rooms" - comme à Rio - qui permettent une gestion parfaitement transversale et unifiée de tous les services de la ville. IBM, ou encore CISCO, parient sur le développement de ces solutions dans le futur, qui devraient s'imposer aux villes comme la solution optimale, la plus efficace et viable économiquement. Cependant cela implique une restructuration majeure de la gouvernance des services de la ville, les services métiers historiques étant en partie dépossédés de leurs compétences - chapitre 6. De plus, ce choix est aussi politique et souvent en lien avec des thématiques sécuritaires - une "control room" intégrant, au-delà des données remontées par les capteurs de l'IoT, le suivi des flux vidéo de toute la ville en temps réel. Dans le domaine de la prévention des risques, la corrélation d'informations de transport et environnementales permet une meilleure réactivité. Nice semble s'engager vers une stratégie semblable, de même que Dijon, qui a choisi une gestion transversale de tous ses services avec l'appel d'offre de la gestion connectée de l'espace public remporté par Bouygues Energies en 2017.

### **Conclusion :**

Le développement de la connectivité IoT est donc encore en pleine effervescence - comme le détaille le récent rapport de l'ARCEP sur l'IoT [4] -, les acteurs étant en train de se positionner à la fois sur les technologies LPWAN ou dérivées des réseaux cellulaires GSM, afin de remporter ce qui pourrait être une course à la standardisation ; à moins que toutes ces technologies ne deviennent complémentaires à terme.

Pour une collectivité, le choix du type de connectivité doit se centrer sur le besoin auquel elle doit répondre. Des cartes de couverture pour chaque type de connectivité et selon la topographie de la commune sont calculables, selon la position des antennes du réseau, et permettent de savoir si toute la commune sera couverte. Par exemple, à Saint Sulpice La Forêt, l'entreprise TDF a estimé la couverture d'un réseau LoRa déployé sur la commune étant données les positions optimales estimées de deux antennes LoRa. Deux antennes LoRa suffisent pour couvrir une commune de 1500 à 3000 habitants environ, en incluant les compteurs enterrés ou dans les caves (propriété "deep-indoor"), tandis qu'à Marseille, une vingtaine d'antennes environ suffisent à couvrir toute la ville, ce qui donne une estimation de la portée importante de ces antennes - qui peuvent par ailleurs réceptionner et opérer les signaux de plusieurs centaines de terminaux dans leur aire d'influence à la fois.

Il est possible pour une collectivité de déployer son propre réseau LoRa, par exemple, en "parfum" privé, comme sur la commune de Saint Sulpice. La collectivité choisit dans ce cas d'acheter les antennes LoRa, pour un coût de 1500 euros chacune environ et une durée de vie de trois ans en moyenne - mais aucune redevance ni autorisation n'est en suite nécessaire en parfum privé.

## 2.3 Capteurs

La plus basse couche d'un système internet des objets est constituée des terminaux, c'est-à-dire les objets connectés eux-mêmes. Grossièrement, un terminal est constitué d'une partie capteur qui capte de la donnée, et d'un module lui permettant d'être relié au réseau, afin de transmettre cette donnée (et éventuellement recevoir des instructions). On peut également avoir des terminaux "actifs", agissant en fonction d'instructions qu'ils reçoivent. Les terminaux peuvent donc être de natures très diverses, allant du simple capteur (par exemple un compteur d'eau) doté d'un module de connectivité à l'avènement prochain du véhicule autonome communiquant avec son environnement, en passant par le smartphone – objet connecté le plus répandu aujourd'hui.

Au cours de notre étude, nous avons rencontré peu de cas où les terminaux déployés étaient plus que de simples capteurs transmettant des données. Parmi les rares terminaux "actifs" que nous avons rencontrés, on peut citer les iGirouettes et le système d'arrosage automatisé à Lyon. La raison à cela est que le premier intérêt de l'internet des objets (d'où d'ailleurs le nom "internet des objets") est de mettre en réseau un nombre suffisamment grand de terminaux pour pouvoir croiser une quantité importante de données et obtenir ainsi une information nouvelle, ou bien plus fiable. Il s'agit donc majoritairement de capter de la donnée. On peut penser cependant qu'il ne s'agit là que d'une première étape de l'internet des objets, les données ainsi collectées permettant par la suite une plus grande automatisation avec le développement de plus de terminaux "actifs" (on peut penser au véhicule autonome, qui aura besoin d'interagir avec l'infrastructure routière pour déterminer son comportement).

La couche «terminal» de l'internet des objets a des contraintes et des problématiques propres. Les technologies évoluent vite, l'innovation très forte en fait un écosystème en constante mutation. Or la qualité de cette couche est cruciale pour le reste de la chaîne, en particulier la qualité de la donnée remontée. Un certain nombre de questions se posent pour le porteur de projet lors de la phase de conception, concernant les terminaux. Quel terminal pour le besoin identifié, quelle stratégie de positionnement et quel usage? Quelle durée de vie? Quelle dépendance au reste du système et à ses évolutions? Quel niveau de sécurité?

### 2.3.1 Définir l'usage du capteur pour une donnée de qualité

Au vu de l'extrême diversité des technologies disponibles en termes de terminaux, il ne nous a pas semblé pertinent de faire ici une revue des différents types de capteurs. Nous voudrions nous attarder sur la définition de l'usage du capteur en phase de conception du projet. Cet usage doit être défini en fonction du **besoin initialement identifié** (dont un certain nombre d'exemples sont donnés en partie 1), de la **donnée qu'on veut capter**, et de **l'usage qu'on veut faire de cette donnée**.

#### Positionnement des capteurs :

La question du positionnement du capteur est particulièrement importante, afin d'assurer une qualité optimale de la donnée en vue de l'usage que l'on souhaite en faire. Cette question du positionnement est à considérer à deux échelles : à l'échelle de chaque capteur

individuellement, et à l'échelle du réseau de capteurs que l'on déploie.

À l'échelle du capteur, il faut considérer son environnement direct, et prendre en compte ce qui pourrait biaiser la donnée pour permettre une analyse compatible avec le cas d'usage et l'utilisation que l'on souhaite en faire. Un autre point à considérer est le positionnement relatif des capteurs. Notamment, si l'on souhaite croiser des données issues de capteurs différents, il faut s'assurer que les données captées sont bien comparables. Cela nécessite une enquête terrain en amont de la mise en place des capteurs. Ainsi, lors de l'expérimentation menée par CISCO sur la place de la Nation, le positionnement des capteurs n'a pas été suffisamment bien déterminé en fonction du besoin. Les échanges entre la Ville de Paris, qui espérait pouvoir adapter l'aménagement de la place en fonction des éléments remontés de l'internet des objets sur la place, et CISCO, responsable de l'expérimentation, n'ont pas permis d'aboutir à une disposition suffisamment fine et cohérente pour en tirer des informations concluantes. L'expérimentation consistait notamment en des mesures de bruit, de pollution et de flux de véhicules pour chercher des corrélations entre ces données. Les résultats ont été décevants sur ce point, puisque les données n'ont mis en évidence aucune corrélation. Par exemple, il semblerait que les capteurs de bruit aient été mal positionnés, captant ainsi un bruit de fond rendant impossible d'isoler le bruit lié à la circulation locale. **Cette expérience montre que la prise en compte de la physique dans le positionnement des capteurs est indispensable à la réalisation d'un projet adapté au cas d'usage et débouchant sur des données pertinentes.** Il faut pour cela s'entourer d'entreprises ou d'instituts de recherche compétents dans ce domaine.

À l'échelle du réseau de capteurs, la définition de la stratégie de déploiement est importante. Schématiquement, on peut distinguer deux grands types de stratégies :

1. Déploiement de quelques points de mesure de qualité, en lien avec le développement d'un algorithme d'interpolation ;
2. Déploiement d'un très grand nombre de points de mesure (fixes, voire mobiles) de qualité moins bonne mais couvrant le territoire.

La première stratégie est employée classiquement pour les mesures de qualité de l'air. AirParif possède un nombre restreint de stations de mesure, très performantes et très coûteuses (une station coûte plus de 100 000€). On voit cependant une limite à cette approche : un certain nombre de communes franciliennes, ne bénéficiant d'aucune - ou d'une seule, non représentative - station de mesure sur leur territoire, commencent à s'intéresser à la seconde stratégie en déployant des capteurs moins chers, comme récemment la ville de Puteaux. On peut également citer les expérimentations ayant eu lieu à Lyon et à Grenoble sur ce sujet : des micro-capteurs de qualité de l'air ont été testés aux emplacements des stations actuelles d'Atmo Auvergne-Rhône-Alpes, ainsi que sur le tramway pour obtenir une mesure en plusieurs points de la ville. Ces expérimentations n'ont pas été satisfaisantes (principalement pour des raisons de maturité des technologies), mais témoignent d'un mouvement de fond vers une réelle stratégie "internet des objets", avec des réseaux d'objets de grande taille. Certains usages cependant justifient encore un déploiement restreint d'objets : c'est le cas à Nice avec le déploiement de quelques capteurs de pollen, très performants mais très coûteux.

### **Réactivité du terminal :**

Le besoin identifié débouche sur la définition d'un certain nombre d'indicateurs de qualité de service, parmi lesquels la réactivité du terminal, c'est-à-dire sa capacité à envoyer ses données à une fréquence plus ou moins élevée. Les objectifs pour ces indicateurs doivent être proportionnés au service que l'on veut rendre. Bien que la mesure en temps réel soit souvent vue comme un objectif en soi, tous les usages ne nécessitent pas des données en temps réel : un compteur de télérelève de fluide peut n'envoyer ses données qu'une fois par jour. En revanche, les usages étudiés pour la route 5G et le véhicule autonome demandent une très forte réactivité.

Cette question de la réactivité nécessite un arbitrage, car elle va également impacter la consommation énergétique du terminal, et potentiellement son autonomie si celui-ci fonctionne sur batterie. Un certain nombre de systèmes IoT (comme beaucoup de systèmes de télérelève) fonctionnent avec une transmission unidirectionnelle pour économiser de l'énergie. Dans ce cas de figure, on ne peut confirmer la bonne réception de l'information.

### **Propriété du terminal :**

La question de la propriété du terminal reste relativement floue d'après ce que nous avons vu, et varie d'un projet à l'autre. La valeur du capteur peut jouer. Nice par exemple a tout intérêt à être propriétaire de ses capteurs de pollen, qui représentent un investissement considérable pour la métropole. Ceux-ci étant séparés du module radio qui les rend communicants, les mesures effectuées par le capteur resteront exploitables en cas de changement de connectivité. Certains capteurs ont cependant leurs éléments communicants non séparés de l'élément de mesure.

Le choix de la propriété dépend également du modèle économique du partenaire privé retenu pour le projet. Ainsi, m2ocity privilégie le fait que la collectivité soit propriétaire du terminal. C'est alors la collectivité qui est responsable en cas de panne ou de dégradations. D'autres modèles privilégient la location, ou une logique servicielle.

## **2.3.2 Anticiper les contraintes liées à l'installation**

La pose des capteurs est également un aspect à réfléchir en amont. En effet, selon les choix réalisés à partir de la définition du besoin, l'installation du terminal sera plus ou moins lourde.

La pose d'un capteur connecté peut être relativement simple s'il s'agit d'ajouter un module de connectivité fonctionnant sur batterie à un capteur existant (par exemple ajouter un module radio LPWAN sur un compteur d'eau). En revanche, si le projet nécessite des terminaux plus gourmands en énergie et ne pouvant pas fonctionner sur batterie (terminaux fonctionnant par Wifi ou technologie cellulaire classique par exemple), il faut anticiper un raccordement au réseau électrique, et donc un coût de mise en place plus élevé.

L'accessibilité du point de pose du capteur est également à prendre en considération, ainsi que les caractéristiques de l'espace public dans lequel on veut l'implanter. Le problème s'est posé lors de l'expérimentation de la place de la Nation. On a du installer des mâts pour accueillir certains capteurs le temps de l'expérimentation, car le mobilier urbain ne s'y prêtait pas. Les démarches BIM et de modélisation 3D des villes peuvent

ainsi permettre d'évaluer les possibilités d'implantation de l'IoT dans l'espace public. Certaines villes comme Marseille commencent à intégrer une logique IoT dans leurs directions métiers qui gèrent l'espace public : il s'agit d'identifier de ce qui peut devenir numérique (banc, abri-bus, etc), et de concevoir le mobilier urbain de manière à anticiper cette possible mutation vers le numérique (prévoir les arrivées des câbles réseau, les réservations, etc).

### **2.3.3 Le capteur sur le long terme : maintenance et fin de vie**

Idéalement, la maintenance du capteur est minimale. Les capteurs sur batterie fonctionnant en LPWAN peuvent avoir une autonomie théorique d'une dizaine d'années, bien qu'aucun retour d'expérience sur la fiabilité de cette information ne soit disponible aujourd'hui.

Des questions peuvent se poser quant à l'obsolescence des capteurs. Que se passe-t-il si la collectivité change sa technologie de connectivité ? S'il faut faire des mises à jour logicielles des capteurs pour des raisons de sécurité ? La durée de vie annoncée des capteurs est en effet à une échelle de temps bien plus longue que le rythme des innovations dans le secteur. Certains capteurs permettent par exemple des mises à jour logicielles à distance, permettant de maintenir un niveau acceptable de sécurité. Un changement de technologie de connectivité peut également être complexe. Cela nécessite dans le pire des cas le changement complet du module de connectivité du capteur. Le changement peut être plus minime si on reste dans une même classe de technologies (simple changement de carte SIM pour passer d'une technologie cellulaire à une autre par exemple). Certains capteurs sont également prévus pour pouvoir fonctionner avec différentes technologies de connectivité, le changement peut alors se faire à distance par une mise à jour logicielle.

La question de la propriété et de la maintenance du capteur joue un rôle important sur les questions d'entretien et de fin de vie.

## **2.4 S'orienter vers le bon niveau d'interopérabilité**

Pour permettre à l'internet des objets de devenir une réalité, à savoir permettre le développement de véritables réseaux d'objets connectés communiquant entre eux, une certaine interopérabilité est nécessaire.

Contrairement au secteur de la téléphonie mobile, les objets connectés - sauf pour quelques cas particuliers (le traçage d'un container envoyé par bateau par exemple) - sont pour la plupart fixes ; les enjeux d'interopérabilité sont donc d'une autre nature. Les enjeux de l'interopérabilité pour l'internet des objets sont à appréhender sur deux plans distincts : les couches basses et les couches hautes. En d'autres termes, il s'agit de considérer d'une part la capacité des objets connectés à être interopérables, et d'autre part l'interopérabilité au niveau du traitement de la donnée.

Selon les acteurs considérés, l'interopérabilité ne représente pas le même enjeu. Les usagers des systèmes IoT (collectivités, citoyens) ont tout intérêt à avoir un niveau maximal d'interopérabilité. Cela leur procure en effet plus de sécurité, par exemple en diminuant

le risque d'obsolescence technologique ou d'enfermement propriétaire pour les collectivités, ou en assurant un meilleur contrôle de la collectivité ou de l'utilisateur sur la donnée. L'interopérabilité favorise également les effets de réseau. Elle est par ailleurs vue par le régulateur comme un gage de fluidité du marché, en permettant de réduire les coûts de changement [5]. L'ARCEP classe ces coûts de changement en trois grandes catégories :

- Les coûts liés au changement de fournisseur de connectivité ;
- Le manque de transparence du marché, les indicateurs de performance étant très hétérogènes et faiblement comparables ;
- Les modalités de portabilité des données (coûts de changement si le changement de système implique la perte totale ou partielle des données).

A l'inverse, forcer une interopérabilité et une standardisation du marché trop tôt risque de freiner l'innovation. Le marché de l'IoT est actuellement dans cette phase "grise" de marché émergent, dans laquelle l'innovation est primordiale pour l'essor du marché, mais où un manque d'interopérabilité pourrait limiter à terme son développement.

### 2.4.1 Interopérabilité dans les couches basses

L'interopérabilité dans les couches basses (*i.e.* au niveau des terminaux et de la connectivité) est celle qui semble la moins pertinente aujourd'hui, en l'état actuel du marché. Le marché est en effet en plein essor, et n'est pas encore stabilisé. Favoriser l'innovation semble être la meilleure conduite à tenir pour l'instant, et forcer une standardisation du marché au nom de l'interopérabilité irait à l'encontre de cette logique.

Pour ce qui est des terminaux, la standardisation est loin d'être à l'ordre du jour. Cela imposerait des contraintes physiques trop importantes aux constructeurs et étoufferait l'écosystème de start-ups qui constitue un des principaux moteurs du domaine. On voit cependant une prise de conscience de ces enjeux par les constructeurs. Pour proposer une réponse à cet état de fait, quelques fournisseurs technologiques proposent des produits intégrant plusieurs protocoles de communication. La bascule d'un protocole à l'autre s'effectue sans intervention physique sur l'équipement, par simple configuration du produit.. Pour les capteurs fonctionnant avec des technologies cellulaires (version IoT de la 4G ou technologies plus classiques), changer de technologie revient à changer de carte SIM. On le voit, ces basculements nécessitent encore des interventions physiques sur les terminaux, lourdes et coûteuses.

L'ARCEP identifie deux points majeurs pour l'interopérabilité : les protocoles de communication (la connectivité) et l'identification des objets.

#### **Protocoles de communication :**

Comme expliqué en partie 2.2, le marché des technologies de connectivité n'est pas encore stabilisé. De nombreuses technologies se sont développées. Les technologies LPWAN, dont LoRa et Sigfox, ont pris une place importante dans l'écosystème IoT, profitant de bandes de fréquences libres. Les acteurs classiques des télécommunications sont en passe de mettre sur le marché des technologies cellulaires adaptées à l'internet des objets, comme la 4G adaptée pour l'IoT (NB-IoT et LTE-M par exemple), ou la 5G qui devrait - à plus long terme - intégrer des technologies adaptées aux besoins de l'internet des objets. Aucune de

ces technologies n'est encore prépondérante, et l'ARCEP considère qu'il faut pour le moment laisser le marché s'auto-réguler. Dans son analyse du marché, l'ARCEP distingue plusieurs cas de figure concernant l'interopérabilité entre protocoles de communication [5] :

- Des tentatives de standardisation sont en cours, lancées par des acteurs privés. La LoRa Alliance cherche ainsi à créer un écosystème d'acteurs compatibles avec la technologie LoRa. On peut citer également la WiFi Alliance et la ZigBee Alliance. Ce type d'initiative est considéré par un certain nombre d'acteurs publics comme rassurant. Saint Sulpice la Forêt a favorisé cette diversité d'acteurs qui permettait de répondre à la diversité des capteurs qu'elle voulait rendre communicants.
- L'entreprise Sigfox, à l'inverse, mise sur une technologie propriétaire. L'interopérabilité s'entend dans ce cas comme le développement de la couverture Sigfox et dans la compatibilité des terminaux à la connectivité Sigfox. Cependant, Sigfox préconise aussi des **capteurs multi-protocoles**, susceptibles par exemple de se connecter en Sigfox 1% du temps seulement - par exemple en cas de coupure de réseau, dans une application de sécurité. L'offre de Sigfox pourrait donc devenir complémentaire du haut-débit cellulaire, voire du LoRa.
- Les technologies cellulaires ont quant à elles une interopérabilité naturelle, puisqu'elles s'appuient sur les standards 3GPP - l'association de standardisation des technologies mobiles - qui permettent une forte interopérabilité. Les technologies cellulaires appliquées à l'IoT mentionnées plus haut sont ainsi déjà ou en passe d'être standardisées, contrairement aux technologies de type LoRa ou Sigfox. C'est ce qui donne son avantage aux réseaux opérateurs, et garantit une durée de vie certaine de ces technologies (pour donner un exemple, la 2G est aujourd'hui encore accessible).

Bien que ces tentatives de standardisation existent, l'approche dominante des acteurs publics porteurs de projets IoT aujourd'hui reste d'éviter l'enfermement propriétaire dans une technologie, pratiqué par de nombreux opérateurs privés. Cette approche vigilante est d'autant plus justifiée que les technologies de connectivité ne sont pas tout à fait substituables et sont plus ou moins adaptées selon le besoin. Il est ainsi très rare que des villes déploient leur propre réseau IoT. C'est le cas pour des projets à relativement petite échelle, comme à Saint Sulpice la Forêt qui a déployé son propre réseau LoRa. La métropole de Lyon a mené une expérimentation de déploiement d'un réseau LoRa à des fins exploratoires, mais sa politique reste de laisser aux partenaires privés l'initiative des projets IoT et du choix de la connectivité. Plusieurs réseaux de connectivité coexistent donc sur le territoire. Certaines applications utilisent le réseau opérateur déployé par Objenious (filiale IoT de Bouygues Telecom), tandis que Veolia - qui a la délégation de service public pour l'eau - a déployé son propre réseau, basé sur la technologie des compteurs Homerider. Malgré le risque de redondance, la métropole de Lyon considère que faire le choix une technologie serait contre-productif (cela pourrait limiter certains usages IoT, fermer la porte à certains acteurs privés, etc).

### Identification des objets connectés :

Actuellement, les modalités d'adressage des objets connectés retenues par les acteurs privés sont très diverses, et aucune standardisation n'existe. Parmi les modes d'adressages utilisés, on peut citer les numéros de téléphone mobile, les identifiants de carte SIM, les

adresses IP dans leurs variantes IPv4 et IPv6, et des formats propriétaires non standardisés. Dans la mesure où un objet connecté n'a de valeur que s'il est capable d'être en relation avec tout un écosystème d'objets connectés, le mode d'adressage peut poser de vraies questions d'interopérabilité. L'ARCEP considère que le standard IPv6 pourrait servir de langage universel [5].

Bien que l'interopérabilité soit une vraie question pour le moyen terme pour les couches basses des systèmes internet des objets, il semble que le véritable enjeu se situe actuellement au niveau des couches hautes, c'est-à-dire au niveau de la donnée et de son traitement.

## 2.4.2 Interopérabilité dans les couches hautes

L'interopérabilité au niveau de la donnée et de son traitement est fondamentale pour l'internet des objets, puisque c'est à cette échelle que se situe l'essentiel de la valeur d'un système internet des objets. Il s'agit ici de pouvoir faire dialoguer les applications entre elles. Cette interopérabilité s'entend sur deux plans : l'interopérabilité entre les plateformes de données, et l'interopérabilité entre objets via des passerelles.

### **Interopérabilité entre les plateformes de données :**

Le premier aspect de l'interopérabilité entre les plateformes de données est la question du format des données. Le développement de Data Lakes qui centralisent des données brutes issues d'un grand nombre de capteurs différents, ou plus généralement des plateformes OpenData, apporte une grande richesse, mais exige également une uniformisation des formats de données : chaque jeu de données doit contenir les données contextuelles du capteur qui les a captées, et se présenter sous une forme standardisée. Actuellement, ce travail d'uniformisation est plus ou moins réalisé au niveau de chaque plateforme par les acteurs (publics ou privés) qui les gèrent, mais les standards qui permettraient une interopérabilité entre ces bases de données ne sont pas encore utilisés. Les acteurs sont conscients de cet enjeu, et des projets de standardisation se développent internationalement.

Au niveau du Data Lake, il est possible de garder la donnée brute la plus complète possible (i.e. avec toutes les données de contexte ; heure, position de la mesure ou de l'enregistrement, historiques de connexions, etc) même si les cas d'usages ultérieurs n'ont besoin que d'une fraction de ces données. Il devient ainsi possible de corrélérer des données avec certaines des données recueillies et stockées dans le Data Lake auxquelles on n'avait pas pensé au premier abord.

Le projet européen bIoTpe, lancé en janvier 2016, vise à favoriser l'interopérabilité entre les plateformes de données et d'autres sources de données, afin de casser la logique verticale "en silos" qui prédomine encore dans les projets IoT. Le projet a pour objectif de créer des "systèmes de systèmes" permettant la communication entre silos, notamment via le développement d'APIs et de formats de données standardisés. Il s'appuie sur des technologies Open Source, dont le format de description Open-DF et le standard de communication des objets O-MI. Ce projet développe des pilotes dans quelques grandes villes d'Europe, parmi lesquelles la Métropole de Lyon. Le Grand Lyon développe ce projet en lien avec deux expérimentations IoT en cours sur son territoire :

- **Optimisation de la collecte des conteneurs à verre** : Des capteurs permettant de mesurer le remplissage des conteneurs à verre ont été déployés (bientôt sur 300 conteneurs). Le système fonctionne techniquement, comme l’a montré la première phase de l’expérimentation. La difficulté du projet consiste à rendre interopérable la donnée remontée par le réseau de capteurs, et le système du collecteur. Le problème est d’autant plus complexe que les déchets du Grand Lyon sont collectés par plusieurs collecteurs privés différents, qui peuvent changer au rythme de la durée des contrats.
- **Optimisation de l’arrosage pour limiter le phénomène d’îlot de chaleur urbain** : Comme détaillé au paragraphe 1.2.3, la métropole de Lyon a déployé un certain nombre de capteurs pour optimiser l’arrosage des arbres, dans un souci de limiter le phénomène d’îlot de chaleur urbain. Les capteurs sont de natures très différentes, et les technologies mobilisées sont également diverses (LoRa, Sigfox, connexion filaire, etc.). L’enjeu ici est de pouvoir faire interopérer tous ce réseau de capteurs, au niveau de la donnée.

L’interopérabilité entre plateformes pose également la question de la portabilité des données. Cet enjeu est primordial, notamment en cas de changement de prestataire. Perdre la totalité ou une partie de ses données constitue un coût de changement majeur pour une collectivité si elle doit changer de prestataire. Ce point peut être traité au niveau contractuel. L’arrivée prochaine (25 mai 2018) du règlement général sur la protection des données (RGPD) devrait apporter des avancées sur ce sujet, puisqu’il ouvre le droit à la portabilité des données personnelles. Pour l’instant limité aux données personnelles, le RGPD permettra d’ouvrir le débat sur cette question de la portabilité. Améliorer la portabilité est gage de confiance des citoyens vis-à-vis de la collectivité quant à l’utilisation de leurs données personnelles, et plus généralement des données issues des systèmes IoT.

Cette question de la portabilité est aujourd’hui principalement considérée pour la donnée. Or pour les systèmes où l’exploitation de la donnée nécessite des méthodes de deep learning ou d’intelligence artificielle, la majorité de la valeur est concentrée dans les réseaux de neurones entraînés par cette donnée, puisque ce sont eux qui permettent de produire l’information à partir de la donnée. Les algorithmes étant en majorité la propriété des prestataires privés, en cas de changement de prestataire, l’utilisateur du système IoT perd donc une grande partie de la valeur (au moins pour un temps), même s’il récupère l’intégralité de ses données. Cette question est aujourd’hui peu abordée, mais mérite d’être prise en considération.

### **Interopérabilité entre objets via des passerelles :**

Un autre aspect de l’interopérabilité dans les couches hautes consiste à faire communiquer les objets directement (sans passer par une plateforme centralisant les données), via des passerelles. Un exemple classique est l’interaction entre un détecteur de présence et une lampe, le détecteur de présence provoquant l’extinction de la lampe quand la pièce est vide. A ce niveau, l’interopérabilité s’organise selon deux modalités [5] :

- Via une gouvernance collective : un standard est porté par une alliance, comme c’est le cas pour le consortium AllSeen qui développe des standards communs de communication via la technologie AllJoyn.

- Rôle de passerelle assuré par un acteur : le positionnement de l'acteur en question peut aller plus ou moins loin, selon qu'il joue simplement un rôle de traducteur (comme la plateforme IFTTT), ou qu'il s'intègre directement dans les objets connectés (comme les protocoles HomeKit d'Apple et Weave de Google).

## 2.5 Sécurité des données et des réseaux et anonymisation des données

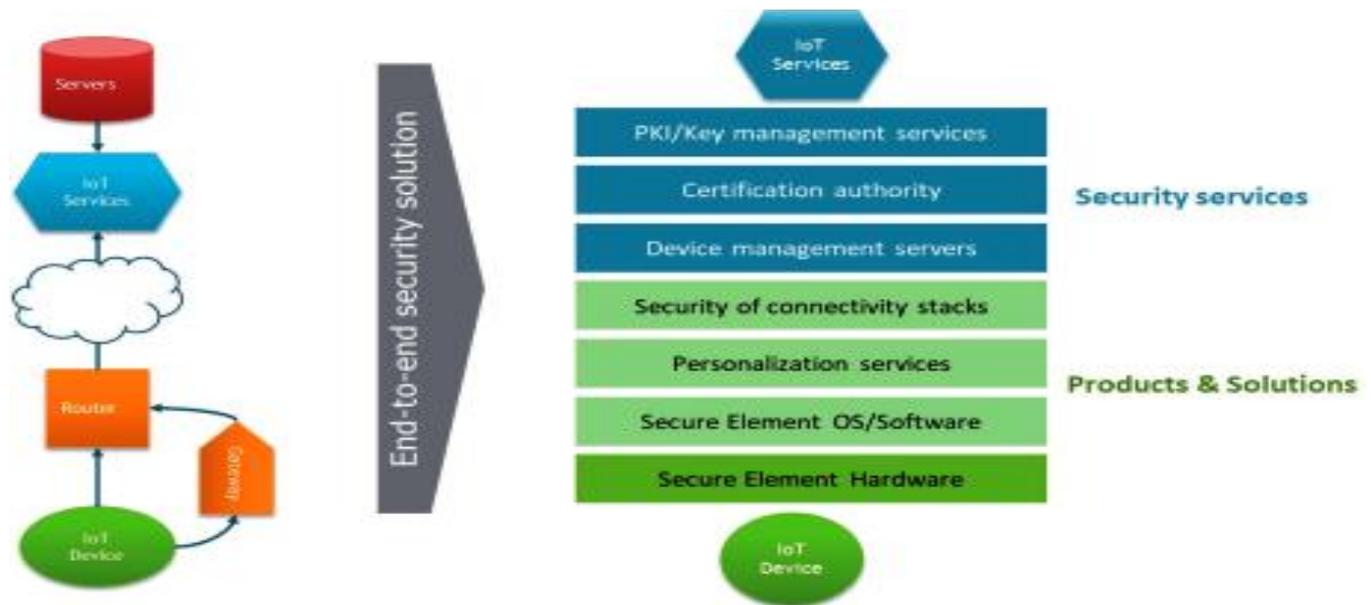


FIGURE 2.3 : Sécurisation des objets connectés sur toute la chaîne de valeur : de l'objet à la donnée - *La Jaune et la Rouge, Des réseaux d'objets connectés plus sûrs grâce à TIEMPO SECURE, Numéro 729 Novembre 2017*

### Sécurité des objets et des réseaux :

La sécurité des réseaux d'Internet des Objets est un sujet majeur, bien que récent. Des entreprises comme la PME Tiempo Secure se placent sur le marché de la sécurisation des objets connectés, que ce soit au niveau des composants physiques eux-mêmes - le "hardware" -, du chiffrement pour le cryptage et du "software" - *i.e.* des logiciels sous-jacents. Des barrières de cybersécurité inspirées des processus de sécurisation des cartes bancaires, ou d'autres succès passés, sont en cours de développement ou consolidation, notamment sur le modèle type château fort de "défense en profondeur" - plusieurs couches de défense à défaire en cas d'intrusion.

La vulnérabilité se situe donc à la fois dans l'objet lui-même, qui pourrait se voir piraté et observé - avec un vol potentiel des données mesurées *in-situ* -, mais aussi dans le réseau et centre de commande en amont auquel est relié le terminal, via les répéteurs et antennes relais notamment.

Cette question a déjà défrayé la chronique avec l'interception de données bancaires envoyées et non cryptées lors du paiement du stationnement à distance, via un smartphone, lors de l'expérimentation du boulevard connecté à Nice avec l'entreprise CISCO

en 2014. Les risques sont donc multiples : interception des données en bout de chaîne, ou incursion plus profonde dans le réseau par l'objet connecté terminal. Toute la chaîne de valeur de l'IoT doit donc être pensée afin de répondre aux enjeux de sécurisation. Dans certaines collectivités, comme à La Défense, des enjeux locaux très forts s'ajoutent : la sécurité des systèmes d'information y est cruciale étant donnée la sensibilité des données des acteurs économiques ou stratégiques présents dans le quartier d'affaires. La sécurité des réseaux y est donc une priorité, la moindre altération de l'image du quartier - par la prise de contrôle malveillante d'objets connectés, ou de serveurs, par exemple - pouvant entraîner de lourdes conséquences.

Les recommandations de l'Agence Nationale de Sécurité des Systèmes d'Information (ANSSI) et les standards qu'elle propose ou soumet au vote du Parlement permettent à l'écosystème de l'IoT de mieux faire face aux cybermenaces de plus en plus nombreuses. Lors du choix d'objets connectés ou de réseaux par la collectivité, une attention particulière à la certification ou non par l'ANSSI - dans le cas où une certification est déjà mise en place - est à encourager. C'est en effet une garantie de risques minimales et d'harmonisation des protocoles de communication, ce qui contribue également à l'interopérabilité des systèmes évoquée dans la partie 2.4.

La question de la sécurité des réseaux recoupe également en partie celle de la sécurité des données. Tout d'abord, pour ce qui est de la donnée brute, une collectivité ne disposant pas de Data Center mais souhaitant stocker massivement des données recueillies pourra avantageusement recourir à des serveurs implantés en France, comme recommandé par l'ANSSI. En effet, la réglementation locale varie d'un pays à l'autre et l'inviolabilité et la traçabilité des données en cas de cyberattaque seront d'autant mieux garanties en France, où la réglementation attenante est stricte.

Des informations tirées de différentes sources de données peuvent amener à des résultats affectant la vie personnelle des personnes : habitudes de consommation, de déplacement, consommation énergétique chez soi, etc. Les données personnelles sont protégées en France par la Loi Informatique et Libertés de 1978, bientôt complétée par le Règlement Général sur la Protection des Données - voté par l'Union Européenne - à partir de mai 2018. Deux questions principales se posent : comment protéger technologiquement ces données ? Comment anonymiser efficacement les données recueillies ?

La première question concerne tout le marché de la sécurisation des objets connectés précédemment mentionné : il s'agit d'éviter le vol de données, ce qui constitue une première barrière. La seconde question concerne la protection personnelle liée aux données essaimées et récoltées par divers acteurs économiques ou acteurs publics. Cela pose à la fois la question d'une seconde barrière de cybersécurité : *i.e.* comment garantir l'anonymisation pour ne mettre personne en danger même en cas de vol de données ; *i.e.* quelle est la bonne méthode d'anonymisation pour qu'il ne soit possible dans aucun cas d'inférer les personnes concernées.

Ceci pose la question suivante : qu'est-ce vraiment que la donnée ? Est-ce la donnée en elle-même ou ce que l'entreprise en a appris, par exemple grâce à un algorithme de "deep learning" entraîné sur des données d'un groupe de personnes ? Des clauses dans les contrats pourraient être envisagées par les collectivités à ce sujet, mais le contexte régle-

mentaire est encore balbutiant : **la sensibilisation vis à vis de la donnée est de plus en plus forte mais peu encore sur l'utilisation qui en est faite.** De plus, appréhender les possibilités multiples du traitement des données collectées par la collectivité et arrivant dans les mains d'un tiers - soit dérobées par des pirates informatiques, soit simplement mises en Open Data par la collectivité - requiert des compétences techniques très poussées et il est difficile de bien estimer les informations contenues dans un jeu de données d'apparence anodin.

A Marseille, la ville est par exemple consciente de ces enjeux et encourage ses partenaires privés à penser à l'avance le "firmware" ; la partie des composants qui permet à un matériel informatique d'évoluer - via des mises à jour - et d'intégrer de nouvelles fonctionnalités, sans avoir besoin de revoir complètement le design du hardware. Ceci est à considérer en parallèle de la bidirectionnalité de la connectivité choisie ; qui est par exemple possible pour le protocole LoRa. Ainsi, on peut non seulement remonter des données des terminaux vers le Cloud mais également procéder en sens inverse si besoin, par exemple pour des mises à jour.

### **Du danger caché de publier certaines données :**

Les contraintes imposées par la CNIL sur les données personnelles, ou encore le RGPD, impliquent une mise en conformité de la part des collectivités. Nous avons remarqué qu'il n'était pas toujours facile et évident pour les collectivités de s'y préparer, avec notamment la question du choix des données à diffuser en Open Data ou non - certaines données étant sensibles et pouvant s'avérer stratégiques et vitales pour la collectivité. Un compromis avec la loi NOTRe et l'obligation de mettre à disposition certaines données, ainsi qu'avec les stratégies de marketing territorial par l'Open Data généralisé, est à trouver.

Des subtilités surgissent lors de l'anonymisation nécessaire des données : comment s'assurer de la bonne manière et de la bonne échelle d'anonymisation pour qu'aucun algorithme ne puisse défaire cette anonymisation ? Enedis, concessionnaire du réseau de distribution d'électricité, travaille actuellement sur la façon d'anonymiser les données recueillies par les compteurs Linky. Par exemple, il s'agit d'agréger les données d'au moins dix logements d'un même immeuble, afin que le suivi de la consommation de ces dix logements ne permette pas de remonter à chacune des dix consommations individuelles. On peut se demander si cela est suffisant pour la confidentialité des données quel que soit l'algorithme utilisé en aval, et quelles que soient les autres données annexes possiblement exploitées et croisées avec ces données des compteurs Linky. Cet enjeu d'anonymisation est ainsi un enjeu majeur à intégrer dans la réflexion et la formation.

Enfin, il est important pour la collectivité de communiquer sur l'usage fait de la donnée - voire d'obliger un partenaire privé à le faire, s'il a entraîné un algorithme sur des données publiques. Dans le cas d'un usage de données personnelles qu'on ne peut pas anonymiser, il est nécessaire de demander l'accord des personnes à la source des données, conformément à la réglementation.

## 2.6 Bilan écologique - Analyse du Cycle de Vie

Si l'internet des objets est un outil pertinent pour piloter la consommation des bâtiments ou surveiller les éventuelles fuites ou pertes d'efficacité, il nécessite le déploiement de capteurs, antennes et réseaux. En complément des retours sur investissement financiers, il serait intéressant de s'interroger sur le bilan écologique du système et en particulier sur une analyse globale des émissions et consommations tout au long de son cycle de vie.

L'analyse du cycle de vie est un outil normalisé reposant sur les normes ISO 14040 et 14044. Son application à l'IoT fait aujourd'hui l'objet de recherches. Sans apporter à ce jour de réponse, les travaux peuvent apporter une clé de lecture sur l'intérêt et la stratégie à développer dans l'internet des objets à usage environnemental.

En complément de l'optimisation des performances, du déploiement et de l'autonomie, de la quantité de données transmises, le bilan écologique de cette solution pourrait devenir un élément d'arbitrage pertinent pour le futur.

### CONCLUSION : ASPECTS CRUCIAUX À CONSIDÉRER DU POINT DE VUE DES TECHNOLOGIES

Les systèmes IoT ont en commun une architecture à plusieurs niveaux : les couches "basses" constituées des terminaux et de la connectivité, et couches "hautes" pour le traitement de la donnée. Plusieurs points d'attention sont à considérer :

- Selon le cas d'usage, **les choix de technologie** (capteur, connectivité) doivent être définis selon les exigences en termes de débit, de temps de latence et d'autonomie. Un **compromis entre l'autonomie des terminaux et leurs performances** est à trouver. La **stratégie de déploiement**, ainsi que les **problématiques de maintenance et de fin de vie** sont à prendre en considération.
- **Un marché en développement** : le marché de l'internet des objets est en pleine innovation, et aucune standardisation n'existe à ce jour. Il faut donc rester prudent pour éviter l'enfermement dans une technologie.
- **L'interopérabilité** entre les systèmes internet des objets est un enjeu fort pour le développement de l'internet des objets, en particulier au niveau des couches hautes (traitement de la donnée et applications).
- **L'impact écologique sur tout le cycle de vie** des systèmes, sujet de recherche actuellement, est à prendre en compte dans le choix de développer l'internet des objets.

# Chapitre 3

## Un écosystème complexe aux acteurs multiples

De nombreux acteurs interviennent lors du déploiement d'une politique de ville intelligente. Les acteurs publics, qui souhaitent moderniser les politiques sur leurs territoires, sont nombreux : les villes, les métropoles (ou communautés de communes), les départements ou régions mais aussi les aménageurs (comme la Société Publique Locale Lyon Confluence, l'Établissement public d'aménagement de la Défense-Seine Arche ou celui de Paris-Saclay. Enfin, les entreprises privées sont aussi en grand nombre : certaines plus centrées sur les technologies de l'information et de la communication (réseau, logiciel...), d'autres apportant la compétence plus industrielle (Vinci, Bouygues...). Il convient donc de faire un compte-rendu des différents protagonistes du secteur et de leurs actions sur la chaîne de valeur dans le déploiement d'objets connectés.

### 3.1 Les acteurs publics, architectes des projets IoT dans les villes

Les acteurs publics menant une politique de territoire intelligent, en développant en particulier l'internet des objets, sont très nombreux.

Les premiers acteurs sont les villes et groupements de communes (communautés de communes ou métropoles). Pour de nombreux usages, ils sont aujourd'hui les porteurs de projets, prescripteurs de marchés et de politiques publiques les plus importants. Mais les municipalités interviennent aussi comme responsables de l'urbanisme. Les documents, le PLU en particulier, et les autorisations d'urbanisme permettent en effet de développer des projets sur les territoires et peuvent orienter vers des projets plus technologiques. Dans le cadre de ce travail nous avons interviewé de nombreuses villes et groupements de communes de tailles et de caractéristiques différentes. Les enjeux pour ces acteurs sont de moderniser leur image, de rendre de nouveaux services à leurs usagers, mais aussi et surtout de réaliser des économies de fonctionnement et d'avoir une meilleure vision de leur territoire. Ils sont aujourd'hui le moteur du développement de ces technologies et, à travers des associations ou des groupes de travail, proposent des retours d'expérience.

Ces acteurs créent aussi des structures spécifiques dédiées à l'internet des objets, que ce soit des missions en interne à l'administration mais aussi et surtout des sociétés publiques locales, des syndicats ou sociétés d'économie mixte, en charge spécifiquement des Smart City ou des structures d'aide à l'innovation. Ces structures sont à la croisée des mondes entre l'administration, le secteur privé et les start-ups. Elles ont pour objectif d'avoir plus de flexibilité et de réactivité que l'administration et ainsi permettre une aide à l'innovation plus efficace sur le territoire. On peut notamment citer le Tubà à Lyon, la Cité des Objets Connectés à Angers, Bordeaux Metro Pulse...

A une échelle plus importante, les départements, régions et dans une moindre mesure l'état à travers les ministères et en particulier leurs services déconcentrés (DDT, DREAL...) sont - ou deviendront - des acteurs de l'internet des objets. Si les politiques IoT se sont tout d'abord développées à une échelle très locale, on voit aujourd'hui des projets à une échelle plus grande, en particulier sur les problématiques de transports, de routes connectées ou de développement du véhicule autonome. L'étalement géographique des sites à équiper freine cependant ce développement. Ces équipements ont cependant un futur en s'appuyant en particulier sur des réseaux déjà développés tel que le GSM pour leur transmission.

Les acteurs publics sont les porteurs de projet et se placent en position de maîtrise d'ouvrage, clients des solutions techniques proposées par des entrepreneurs privés. Si la situation évolue certes, les compétences techniques des collectivités en particulier dans l'internet des objets restent limitées. Cependant ces acteurs ont un savoir important dans les contextes et techniques utilisés dans la gestion et l'entretien des villes, sans lequel le développement de l'internet des objets en ville est impossible.

Dans les acteurs publics, il faut aussi envisager les laboratoires et centre de recherche qui se sont spécialisés dans le domaine. Ils portent avec certaines entreprises et laboratoires privés la recherche dans ce domaine et réalisent de nombreuses expérimentations.

Un autre acteur public important est l'Autorité de Régulation des Communications Électroniques et des Postes. L'ARCEP a en charge la régulation du marché des communications, la veille à l'exercice d'une concurrence effective et loyale au bénéfice des consommateurs sur le marché des communications électroniques, et l'analyse de l'ensemble du marché. Dans ces missions, elle est en particulier responsable de l'attribution des fréquences et de la réglementation sur leur usage. Son rôle et son intervention dans l'internet des objets restent à ce jour limités à la surveillance de la concurrence. Cependant, en complément du suivi de ce marché, elle pourrait être amenée à réguler le marché ou légiférer pour imposer une réglementation à l'ensemble des acteurs de l'IoT dans les années à venir.

## 3.2 Le citoyen, usager final

Quand on évoque l'internet des objets pour la ville et la Smart City, un acteur incontournable de la chaîne est le citoyen. Le citoyen est en effet souvent l'utilisateur final des systèmes IoT pour la ville, soit que le système en question permette une amélioration de la qualité du service public, ou qu'il soit directement à destination du citoyen. Il faut donc se poser la question de la place du citoyen dans l'élaboration des projets IoT pour la ville.

### 3.2.1 Le citoyen, bénéficiaire indirect de l'internet des objets pour la ville

La plupart des projets d'internet des objets développés dans les villes françaises aujourd'hui sont pensés comme des moyens d'améliorer l'efficacité du service public, en réalisant des économies de fonctionnement, en améliorant la connaissance du territoire, etc (voir partie 1). Dans cette logique, l'utilisateur principal est l'administration, et le projet est conçu principalement en lien avec les directions métiers concernées. Le citoyen n'intervient que tardivement, le plus souvent pour valider le cas d'usage lors de l'expérimentation. Pour le développement de nouveaux services plus directement orientés vers le citoyen, ou l'utilisateur de la ville de manière générale, l'utilisateur intervient également en phase de validation par l'expérimentation. On peut noter cependant des logiques plus inclusives en phase d'expérimentation, par exemple par la constitution de panels citoyens pour tester un service (comme c'est le cas à Lyon pour l'expérimentation du pass unique, ou à Rennes).

Pour certains projets cependant, nous avons décelé une tentative d'inclure le citoyen plus en amont, grâce à des campagnes de sensibilisation à l'internet des objets et des réunions publiques. C'est le cas notamment de Saint Sulpice la Forêt, qui, avant de lancer son projet, a fait venir un certain nombre d'acteurs du numérique, de start-ups voisines pour sensibiliser et acculturer aux logiques IoT, et a tenu des réunions publiques pour informer sur le projet.

### 3.2.2 L'internet des objets change le rapport du citoyen à l'action publique

L'internet des objets peut changer le rapport des citoyens à l'action publique de manière assez radicale. Deux aspects sont à considérer dans les évolutions apportées par l'IoT :

- Le positionnement de la collectivité vis-à-vis du citoyen ;
- Les exigences du citoyen face à l'action publique.

En ce qui concerne **l'acteur public**, l'IoT lui permet de manière générale d'accéder à une meilleure connaissance de son territoire, mais également de son action. La collectivité a accès à des informations qu'elle n'avait pas avant (c'est le cas par exemple de l'optimisation de la collecte des points d'apport volontaire de déchets), ou qu'elle avait de manière imprécise. Elle a également accès à des indicateurs de performance de l'action publique plus fiables et plus pertinents. On peut citer l'exemple de l'expérimentation "Rouen ville respirable" (détaillé au paragraphe 1.2.4), qui permet d'évaluer l'impact de la politique trafic mise en place sur la qualité de l'air. A priori, il semble donc que l'internet des objets puisse donner à la collectivité les moyens d'être plus pertinente dans l'action publique, et donc vis-à-vis des citoyens.

L'exemple de Saint Sulpice la Forêt montre comment cela peut changer le rapport de la collectivité aux citoyens. L'idée de fond de ce projet (détaillé au paragraphe 1.1.1) est d'amener un changement des comportements par une connaissance plus fine des conséquences de ces comportements en termes de confort et de consommation énergétique des bâtiments publics. Les citoyens, ou a minima les usagers des bâtiments publics instrumentés, font donc partie intégrante du projet de Saint Sulpice. La ville peut, grâce aux données

collectées, communiquer sur les mauvais usages des bâtiments et leurs conséquences. Elle a pu détecter des comportements à l'origine de consommations anormales, voire identifier les auteurs de ces comportements : chauffage de l'école pendant les vacances d'hiver, consommation anormalement élevée d'eau chaude, etc. Elle développe également une plateforme de visualisation des données pour le grand public, avec un système de notation des bâtiments par des étiquettes énergétiques, ayant pour objectif d'inciter les usagers des bâtiments à améliorer leurs performances et diminuer leur consommation.

On peut également donner l'exemple du monitoring des éco-quartiers. L'IoT vient ici en appui de la politique énergétique lancée par la ville avec le développement d'éco-quartiers, en lui permettant de communiquer sur les performances du quartier. C'est le cas pour l'éco-quartier d'Issy-les-Moulineaux, où la mairie déploie une stratégie de communication importante sur le quartier.

L'IoT change également le **rapport du citoyen à l'action publique**. Avoir une meilleure connaissance de la performance du service public grâce à la donnée peut être à double tranchant, et rendre le citoyen plus exigeant vis-à-vis de l'acteur public. On pense notamment aux projets IoT concernant la qualité de l'air. Obtenir la donnée est ici une étape préalable à une action visant à améliorer la qualité de l'air, que le citoyen va être en droit d'exiger. Sur un plan plus positif, l'internet des objets, et plus généralement les outils numériques, sont vus par les élus comme des moyens de renouer avec les citoyens et de redynamiser la participation citoyenne à la vie politique. Le développement des Civic Tech fait partie de ce mouvement.

### 3.2.3 Protection des données personnelles

Un des enjeux majeurs posés par l'internet des objets est la question des données personnelles. La richesse des informations qu'on peut extraire par croisement de données est immense, et parfois insoupçonnée. On peut ainsi par croisement de données d'apparence anodine obtenir des informations sur la vie personnelle des usagers, comme un des acteurs que nous avons rencontré s'en est rendu compte au cours du déploiement de son projet. Cela confirme la principale problématique posée par le développement de l'IoT pour les données personnelles : les individus sont de moins en moins en capacité d'exercer un contrôle réel sur leurs données [5]. La capacité de l'usager de la ville à être informé des différentes captations de données dont il fait l'objet (données personnelles ou non) est un enjeu primordial, encore trop faiblement pris en compte par les collectivités développant des projets internet des objets. Il semble d'ailleurs que la confiance des citoyens dans ce type de système soit limitée. Une étude publiée par l'Observatoire société et consommation et le cabinet d'études et de prospective Chronos [8] semble montrer que le modèle de la Smart City connectée ne séduit pas les français (ce modèle est classé en dernier parmi un choix de six modèles de ville, comme la "ville nature" ou la "ville autosuffisante").

## 3.3 Acteurs privés intervenant sur une partie de la chaîne

Les acteurs privés apportent généralement la solution IoT, très complexe et demandant une spécialisation dans de multiples domaines. Ils se constituent le plus souvent en consortium, bien que certains groupes comme VINCI Energies soient capables de répondre seuls

à des appels d'offre majeurs, de par leurs nombreuses filiales positionnées stratégiquement tout au long de la chaîne de valeur de l'IoT.

### 3.3.1 Acteurs des terminaux

Les objets connectés eux-mêmes sont fréquemment fabriqués par des start-ups, mais aussi par des filiales de grands groupes, étant donné le degré de spécialisation nécessaire pour réaliser une mesure donnée, d'autant plus que la miniaturisation de capteurs historiquement très volumineux constitue une réelle innovation. Un très large choix d'objets connectés est à disposition des collectivités ou intégrateurs.

A Angers, une politique de mise à disposition de la donnée pour encourager le développement économique, via notamment les start-ups, a été mis en place. Un écosystème exceptionnel lié à l'implantation historique d'entreprises de l'électronique a permis la création de la Cité de l'Objet Connecté, qui encourage une fabrication de A à Z d'un objet connecté, suite à un besoin donné, grâce à la mise en relation entre acteurs publics, privés et financeurs. Au-delà des intérêts pour l'économie locale et de la valorisation de la "French Tech", la conception et la réalisation entièrement sur place permet de cibler et de répondre à un réel besoin, contrairement à des solutions nées ailleurs, dans un autre contexte, et qui seraient proposées "clé en main".

En ce qui concerne les compteurs de fluides - eau, gaz, etc - communicants, on retrouve des fabricants historiques de compteurs. D'autres entreprises sont fournisseurs technologiques de modules radio et ont adapté leur technologie en compteurs communicants, harmonisée avec la majorité des modes de lecture des compteurs - plus ou moins datés - et interopérable en réseaux LoRa et Sigfox pour certains - on peut envisager ainsi une connexion partagée dans le temps entre ces deux types de connectivité, si l'intérêt est réel et que l'objet est conçu pour. En général, aucun grand groupe des réseaux, des plateformes de données ou des services IoT "haut-niveau" (dans l'architecture) ne fabrique de terminaux, du fait de la complexité de chaque objet. D'où une certaine interdépendance vis à vis de la connectivité et de l'interopérabilité entre équipements de ces différentes entreprises. Qowisio fait figure d'exception, et a récemment prévu de fabriquer ses capteurs pour maîtriser toute la chaîne de l'IoT et offrir ainsi une solution "clé en main" aux collectivités.

Cependant, des start-ups ou filiales dédiées à l'IoT sont justement souvent créées par des grands groupes, comme Objenious pour Bouygues Telecom, ou m2o City pour la gestion du cycle de l'eau - créée par Veolia et Orange en 2011 -, spécialisée initialement dans un domaine métier spécifique mais qui s'est diversifiée depuis.

Des start-ups comme Libelium - voir figure 1.3 - ou encore Plume Labs - voir figure 3.1 - , fabriquent des capteurs connectés de qualité de l'air. Plume Labs propose certes un dispositif de mesure rechargeable - la mesure en temps réel de la qualité de l'air se faisant a priori selon un procédé physique très gourmand en énergie, non optimisé pour un objet connecté autonome immobile sur batterie - mais connecté, permettant de réaliser des cartes collaboratives de qualité de l'air grâce à l'expérience des usagers lors de leurs marches en ville, ce qui améliore le modèle de pollution à l'échelle de la ville en continu.

Enfin, des acteurs de la recherche académique développent des capteurs très innovants mais dans une phase plus amont, comme c'est le cas de l'Institut pour la Transition Énergétique Efficacy à l'IFSTTAR, ou des laboratoires de recherche associés dans le

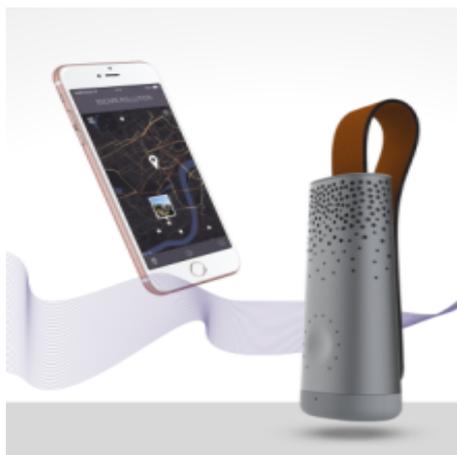


FIGURE 3.1 : Capteur connecté de qualité de l'air - *Capteur Flow, Site du constructeur Plume Labs*

consortium Proteus de nanocapteurs innovants pour la qualité de l'eau.

Au sein même des capteurs et autres objets connectés sont imbriqués de multiples acteurs de l'électronique, notamment des modules radio et des cartes SIM - parfois multipopulaires comme celles proposées par l'entreprise Matooma - pour ce qui est de la partie communicante.

### 3.3.2 Acteurs d'infrastructures des réseaux et des plateformes logicielles et de la donnée

#### Acteurs des réseaux :

L'offre de connectivité est le fruit d'opérateurs des télécommunications historiques, comme Orange ou Nokia, qui adaptent en partie leurs offres à l'IoT en intégrant l'alliance LoRaWAN tout en développant des technologies cellulaires adaptées aux objets connectés autonomes sur batterie - en l'occurrence, la technologie LTE-M. L'entreprise américaine CISCO, implantée également en France, est également offreuse de divers types de connectivité, notamment Ethernet (via un routeur) ou Wifi.

#### Acteurs des plateformes de remontée de données :

CISCO se positionne également sur les plateformes logicielles agrégatrices, permettant de visualiser tous types de données remontées du terrain avec des connectivités diverses et variées. L'hyperviseur est en quelque sorte la partie émergée du Data Lake : les données affichées ne sont pas l'ensemble des données brutes mais les données pertinentes déjà un minimum traitées. Orange, Engie Ineo, présent à Nice à des fins de sécurité, ou encore Axians, marque de VINCI Energies, s'ajoutent également à cet écosystème en concurrence.

IBM est un acteur majeur des hyperviseurs - niveau virtuel - et des "control rooms" - traduction en réalité physique de l'hyperviseur. IBM se positionne sur le marché de la sécurité des villes notamment, avec l'analyse temps réel des flux de vidéosurveillance, tout comme CISCO ; avec la possibilité d'intégrer les données des capteurs de trafic ou environnementaux.

### **Acteurs de l'analyse de la donnée et fournisseurs de services :**

CISCO et IBM, ainsi qu'Orange, notamment, cherchent à exploiter au mieux les données déjà existantes ou récoltées par les objets connectés sur le terrain afin de fournir des services à des clients, comme des solutions d'optimisation des flux routiers ou de la gestion des fluides pour les collectivités - IBM réalisant surtout du B2B, propose généralement ses solutions par l'intermédiaire des opérateurs énergétiques, ou des télécommunications. Les méthodes d'intelligence artificielle et d'apprentissage sont entraînées sur les données recueillies - corrélées et couplées au maximum entre elles, dans l'espace et dans le temps, ainsi qu'avec d'autres sources de données comme les données météorologiques - afin d'améliorer en continu les prédictions et optimisations permises par les algorithmes. Watson, filiale d'IBM dédiée à l'intelligence artificielle, est le témoin de cette nouvelle orientation du groupe historique. IBM a ainsi pu tester ses algorithmes de prédiction de trafic à Lyon, puis à Montpellier, avec un petit nombre de capteurs seulement et grâce aux données itinérantes des connexions au réseau GSM des usagers.

De nombreuses jeunes start-ups exploitent également les données à des fins spécifiques. C'est le cas de BreezoMeter, start-up dont l'algorithme interpole la qualité de l'air en tout point grâce à des mesures locales de pollution, et qui a pu appliquer ses méthodes grâce aux données recueillies par les capteurs de qualité de l'air Libelium lors de l'expérimentation de la place de la Nation.

## **3.4 Acteurs privés intégrateurs**

Un autre acteur important parmi les acteurs privés reste les intégrateurs, qui sont alors responsables de la totalité de la chaîne de valeur de la politique publique qui devrait être mise en place : la pose d'objets connectés (souvent achetés à des start-ups) voire également de répéteurs (comme dans le cas des compteurs Linky) pour transmettre et amplifier le signal mais aussi des antennes et enfin du serveur hébergeant les données.

Nous pouvons citer quelques exemples d'entreprises intégratrices (parmi celles que nous avons interviewées au cours de notre étude). Birdz (anciennement m2oCity, tout comme l'entreprise Qowisio, installe les antennes réceptrices LoRa, mais vend aussi les objets connectés - qu'elle peut acheter à d'autres fabricants de compteurs ou capteurs communicants -, la connectivité - peu chère - et les applications qui exploitent les données recueillies sur le Data Center, donnant souvent lieu à une interface utilisable par les services de la ville et partagée entre m2o City et la collectivité. Qowisio se positionne sur sensiblement le même marché que Birdz ou les autres acteurs de la technologie LoRa - Objenious, par exemple - et que Sigfox, et apparaît donc comme un concurrent dans ce jeu d'acteurs déjà très morcelé.

Veolia, en ce qui concerne la gestion des fluides, va ainsi poser son propre réseau de compteurs via m2o City. Plus spécifiquement, Orange, elle-même, fait aussi partie de cet environnement "Internet des Objets" en se concentrant sur deux points principaux : l'intervention directe sur site avec le déploiement des capteurs, du réseau et de la plateforme de centralisation des données mais aussi l'utilisation elle-même des données qui fait partie intégrante des compétences de l'entreprise. Pour assumer sa partie intégratrice, la firme choisit et labellise des objets connectés (dont elle n'est pas nécessairement propriétaire) après tests pour garantir leur qualité et les proposer à ses clients. Enfin, Enedis installe et

opère son réseau de compteurs intelligents Linky (avec répéteurs, antennes et serveurs). Il est important de souligner que, dans les cas précédemment cités comme Veolia ou Enedis, c'est le délégataire de service public (qui est donc aussi intégrateur), qui est propriétaire du réseau qu'il a installé. Dans le cas d'une régie, la Collectivité est propriétaire des équipements finaux, mais l'installateur est propriétaire du réseau de transport IoT.

Cependant, une autre possibilité d'agir pour être propriétaire et opérateur de l'intégralité du réseau est le fait de se regrouper en consortium pour maîtriser au mieux la chaîne de valeurs. Ainsi, dans le projet d'IssyGrid, un regroupement d'une dizaine d'entreprises s'est créé avec Bouygues Immobilier, Bouygues Energies et Services, EDF, ERDF, GE Grid Solutions, Schneider Electric, Total, Bouygues Telecom, Microsoft et Sopra Steria autour de la ville d'Issy-les-Moulineaux. De même, à Dijon, c'est un consortium regroupant Bouygues Energies et Services, Citelum (filiale d'EDF), Suez et CapGemini qui a remporté l'appel d'offre pour un centre unique de gestion et de pilotage à distance d'objets connectés. Les acteurs privés évoluent donc énormément en consortium pour contrôler l'aspect réseau mais aussi celui de l'ingénierie et mettre en oeuvre leurs technologies.

Néanmoins, il est important de noter que ces acteurs intégrateurs ou formant des consortiums peuvent aussi représenter un risque si le projet n'est pas correctement présenté à la population. En effet, il peut laisser craindre au citoyen une certaine forme de "confiscation démocratique" par le privé qui contrôlerait l'intégralité de la chaîne de valeurs. De nouvelles formes de contestation citoyenne des technologies sont récemment apparues comme nous avons pu le voir avec les compteurs Linky dernièrement ; il faudrait donc préserver toujours une certaine part laissée au secteur public pour que le citoyen ne se sente pas exclu du projet d'Internet des Objets.

## Deuxième partie

# Retours d'expériences et bonnes pratiques

# Chapitre 4

## Analyse multi-critères des entretiens et des projets

Dans cette seconde partie, nous cherchons à identifier un ensemble de retours d'expérience et de bonnes pratiques pour développer un projet d'internet des objets réussi, que nous récapitulerons sous la forme d'un arbre de décision (voir la figure 9.1). Pour réaliser cette partie, nous nous basons principalement sur les entretiens semi-directifs que nous avons pu mener. Nous avons cherché à identifier les facteurs de réussite des projets par une analyse multi-critères.

Les principaux critères que nous avons retenus dans l'analyse des projets des différentes collectivités, entreprises ou laboratoires que nous avons pu rencontrer sont les suivants :

- Comment a été réalisée la définition du besoin ?
- Une expérimentation a-t-elle été réalisée en amont ?
- Qui a porté le projet ?
- Quelle place a été donnée aux équipes terrain de la collectivité dans la définition du besoin ?
- Quelle est la place du citoyen ou de l'utilisateur dans la définition du besoin ?
- Quelle est la dimension de la collectivité concernée ?
- Quelle stratégie IoT et/ou de la donnée mise a été mise en place par la collectivité ?
- Le projet est-il géré transversalement ou en silos au sein de la collectivité ?
- Quelle est l'organisation de la collectivité pour piloter l'internet des objets ? Un service spécifique a-t-il été créé ? Quel est son rôle ?
- Quel vecteur contractuel a été utilisé ?
- Quel a été le portage politique du projet ?
- L'objectif du projet est-il d'atteindre un retour sur investissement ? A-t-il été réalisé ?
- Le projet a-t-il été, pour la collectivité ou l'entreprise, une réussite ? Quels points pourraient être améliorés ?

L'ensemble des entretiens que nous avons pu mener dans le cadre de ce GAAP nous a permis d'identifier plus de 80 projets comportant a minima une part d'Internet des Objets. Ces projets sont à des stades d'avancement très différents, certains projets étant encore en cours de réflexion, d'autres en phase d'expérimentation alors que certains sont déjà opérationnels. Si chacun de ces projets nous a permis d'acquérir des éléments, que ce soit dans l'état des lieux ou les bonnes pratiques, et a pu être analysé à travers les critères de l'analyse, nous n'avons retenu pour cette analyse croisée que les projets suffisamment aboutis pour avoir donné lieu à un bilan même partiel. Beaucoup des projets dont nous avons eu écho sont en effet en cours de déploiement, d'expérimentation ou déployés sur une étendue trop limitée pour être envisagés comme partie d'une politique publique d'internet des objets ; ou l'IoT, bien que présent dans le projet, n'est qu'un aspect accessoire en regard des prestations développées (ce qui nous a conduit à écarter ces projets pour l'analyse).

Nous avons ainsi retenu 12 projets différents pour cette analyse croisée. Ces projets peuvent être en phase d'expérimentation, voire d'industrialisation, et déployés sur des surfaces plus ou moins importantes au sein de la collectivité. Un tableau de synthèse de ces projets reprenant une notation pour les paramètres identifiés précédemment est présenté en annexe B.

**La suite de ce rapport présentera donc les principaux points d'attention et facteurs de succès des projets d'internet des objets que nous avons pu identifier.** Certains paramètres intégrés dans cette analyse ne feront pas l'objet de développement spécifique dans la suite car ils ne nous sont pas apparus comme des facteurs pertinents de réussite ou d'échec d'un projet.

Tout d'abord, la taille de la collectivité est un facteur important à considérer dans l'analyse du succès d'un projet IoT. Les collectivités de taille moyenne que nous avons pu interroger semblent avoir des projets à ce jour plus aboutis. Cependant, ces collectivités ont été particulièrement novatrices dans ce domaine et la taille de la collectivité ne permet pas de généraliser la réussite du projet en fonction d'une taille critique de ville. Les collectivités de taille plus importante ont un territoire et une organisation plus complexe, ce qui complique l'intégration de la gestion de l'internet des objets en interne. Cependant, d'autre part, elles possèdent des moyens humains, techniques et financiers plus importants. Des collectivités comme Lyon ou Bordeaux ont par exemple mis en place des structures fortes de pilotage de l'internet des objets.

Un point clé pour la réussite de l'ensemble de ces projets d'internet des objets, et probablement des politiques publiques en général, est aussi le portage politique du projet. En effet, l'ensemble des projets qui ont abouti à une réussite ont reçu le soutien direct de l'exécutif de la collectivité.

Enfin, le rôle du citoyen dans le développement de l'internet des objets reste un paramètre en cours de développement. S'il constitue l'un des bénéficiaires directs des projets d'IoT, il est parfois associé dès la conception du besoin. Cette participation semble être un accélérateur de réussite des projets. Les utilisateurs peuvent apporter leur soutien et faire vivre l'expérimentation mise en place, par exemple selon un modèle collaboratif de collecte volontaire de données via leurs smartphones, ou de signalement d'incidents sur la voirie. Cependant, leur rôle reste à ce jour souvent limité et ne peut être répliquable à l'ensemble des projets d'internet des objets dans la ville.

# Chapitre 5

## À l'origine d'un projet internet des objets : stratégie et définition du besoin

Dans cette partie, nous présentons les principales stratégies à l'origine du déploiement de projets d'IoT que nous avons identifiées lors de notre étude.

### 5.1 Des stratégies diverses à l'origine des projets IoT

La stratégie dans laquelle s'insèrent les projets internet des objets varie beaucoup d'une ville à l'autre. Elle dépend du degré d'acculturation de la collectivité locale à l'internet des objets, à ses potentialités et ses enjeux. Elle dépend également de la taille de la collectivité. Elle impacte en profondeur la manière dont la question des objets connectés est abordée, et le développement des projets impliquant ce type de système. Selon la stratégie retenue, le développement de l'internet des objets n'est pas motivé par les mêmes moteurs. Dans cette partie, nous présentons les principales stratégies que nous avons identifiées au cours de notre étude. Nous les avons classées en trois approches principales :

- L'approche par le besoin ;
- L'approche par le développement économique ;
- L'approche par le marketing territorial.

Ces approches peuvent être plus ou moins volontaristes ou prospectives en ce qui concerne le développement de l'internet des objets. Elles sont également souvent mêlées, avec une des approches plus ou moins prépondérante.

#### 5.1.1 Approche par le besoin

Ce type d'approche part d'un besoin clairement identifié de la collectivité. L'internet des objets est ici clairement vu comme un outil, et non comme une fin en soi. La posture quant à l'internet des objets est généralement neutre, puisque les solutions IoT sont considérées comme des outils pour atteindre un objectif que se fixe la collectivité. Cependant, on constate qu'une bonne culture du numérique parmi les élus et les services techniques reste une condition quasi nécessaire à une telle approche. Il faut en effet que les possibilités du numérique (et plus particulièrement de l'internet des objets) soient connues des services ayant identifié le besoin.

Nous avons rencontré ce type d'approche dans des villes de différentes tailles, allant de la petite commune de 1500 habitants à la métropole de rang international. Elle s'applique généralement à des technologies déjà bien éprouvées, permettant un retour sur investissement assuré. Le besoin étant bien identifié, le problème de la pertinence du cas d'usage ne se pose pas. D'autre part, l'utilisation de technologies relativement fiables assure - le cas échéant - la rentabilité économique du projet. Tous ces facteurs expliquent que ces projets soient - en tous cas pour ceux que nous avons étudiés - des succès.

Les exemples de Saint Amand Montrond, de Saint Sulpice la Forêt (détaillés au paragraphe 1.1.1) et de Paris relèvent de cette approche par le besoin.

### **SAINT AMAND MONTROND, UNE STRATÉGIE VOLONTARISTE ET GRADUÉE**

Saint Amand Montrond est une commune du Cher comptant 10000 habitants. Sous l'impulsion de son maire Thierry Vinçon, la ville met en oeuvre depuis 2010 une véritable stratégie de ville intelligente et connectée. Ici on note que l'approche du maire est très volontariste, en ce que le numérique oriente toute sa stratégie de développement de la ville. Cependant elle reste très ancrée dans une approche par le besoin, qui se décompose en deux phases principales.

La première consiste en une phase de "Smart Budget". La ville a identifié un besoin de réaliser des économies importantes sur le budget de la collectivité. Des économies de fonctionnement ont donc été réalisées sur la consommation énergétique des bâtiments de la ville, grâce à un système de télérelève. La ville de Saint Amand Montrond, ayant entamé cette stratégie de ville intelligente en 2010, se trouve actuellement en phase de retour sur investissement. A titre d'exemple, la collectivité réalise des économies de 50 000 euros par an pour tout ce qui concerne la gestion et la maintenance des réseaux de fluides (eau, gaz, électricité), sur un budget annuel de 1,2 million d'euros. Elle a des objectifs d'économies à terme de 200 000 euros. Ici il faut noter qu'une partie des économies provient de la rénovation de l'éclairage public, qui est passé en LED. Les recettes générées par cette première phase de "Smart Budget" ont permis de développer d'autres projets : amélioration de la qualité de vie (stationnement intelligent) et démarche de "Safe City". Un système de vidéo-protection a été déployé, qui a généré des économies importantes grâce à la diminution du nombre d'actes d'invités sur la commune.

Cette logique permet de développer, étape par étape et grâce aux retours sur investissement successifs, une stratégie ambitieuse pour la ville. Les économies de fonctionnement ("Smart Budget") permettent ensuite une démarche d'amélioration de la qualité de vie et de suivi du bien-être (capteurs de qualité de l'air, démarche "Safe City").

## **L'APPROCHE PAR LE BESOIN À SAINT SULPICE LA FORÊT**

Saint Sulpice la Forêt est également une ville de petite taille (1500 habitants), située dans la métropole de Rennes. Contrairement à Saint Amand Montrond, elle n'avait pas de stratégie globale de développement de l'internet des objets. On peut tout de même noter des engagements politiques pour le développement durable, avec la signature par la métropole de Rennes de la convention des maires pour le climat et l'énergie, et la volonté de développer le tissu de start-ups locales. Une surconsommation énergétique a été identifiée dans les bâtiments communaux. La commune ne disposait pas de données assez précises sur la consommation énergétique, et la rénovation énergétique lui était impossible financièrement. Elle s'est donc orienté vers une solution IoT lui permettant de mieux connaître l'usage de ses bâtiments.

Le projet, lancé en 2016, a pour objectif d'économiser 20% de la facture énergétique annuelle de la commune. Par ailleurs, la commune a décidé de limiter son investissement à 20000€, afin de s'assurer un retour sur investissement à très court terme pour limiter le risque (idéalement deux ans). Actuellement, le projet est en cours d'expérimentation depuis un an. Il faudra encore attendre un peu pour connaître le retour sur investissement, mais le projet a d'ores et déjà permis d'éviter les fuites et d'identifier des comportements causant des surconsommations. L'expérimentation, prévue à l'origine pour un an, est considérée comme un succès et est reconduite jusqu'en 2020.

## **L'IOT AU SERVICE DE LA VILLE DURABLE À PARIS**

L'exemple de Paris est intéressant, puisque Paris n'est pas du tout dans une logique volontariste sur l'internet des objets. Malgré toute la communication réalisée autour de l'expérimentation place de la Nation par exemple, l'internet des objets reste uniquement pour la Ville de Paris un moyen d'atteindre certains objectifs précis (l'expérimentation place de la Nation était d'ailleurs une initiative de CISCO). Pour tous les projets menés par la Ville, la stratégie retenue est une approche par le besoin. La Ville a ainsi lancé un plan de rénovation de ses centrales thermiques, dans lequel elle a ajouté une composante internet des objets avec l'instrumentation de ces centrales. L'objectif est ici de faire des économies sur les consommations énergétiques des bâtiments de la ville.

Dans le cas de Paris, l'internet des objets s'insère comme un moyen dans la vision globale de la ville intelligente défendue par la ville : une ville durable, économe en énergie, qualitative.

### **5.1.2 Approche par le développement économique**

Une majorité des projets IoT que nous avons étudiés s'intègre dans une politique plus large qu'on pourrait qualifier de développement économique. Il faut tout d'abord rappeler que l'internet des objets est identifié par l'État comme un levier fort de développement économique du pays. La France est actuellement relativement bien positionnée sur le marché de l'internet des objets, et les pouvoirs publics entendent faire en sorte qu'elle conforte cette position.

Un certain nombre de villes développe ainsi des stratégies d'accompagnement de l'innovation. C'est une approche plus prospective : il s'agit avant tout de favoriser l'écosystème des acteurs privés du domaine, et notamment les start-ups. Cette démarche permet d'identifier éventuellement des cas d'usage intéressants pour la ville. Concernant les projets développés, on se situe nécessairement sur des cas d'usages moins bien définis que dans l'approche par le besoin. Les projets sont donc en quelque sorte plus risqués, et leur succès doit être évalué en regard de cet objectif de développement économique.

Les villes mettent en place différents outils, plus ou moins ambitieux. Elles peuvent ainsi favoriser l'accès des acteurs privés à leur espace public pour des expérimentations (comme l'expérimentation de la place de la Nation). On voit beaucoup de structures d'accompagnement des start-ups par la ville se développer, permettant un lieu d'échange entre les acteurs privés et publics : le Tubà à Lyon, Metro Pulse à Bordeaux...

Une limite de cette approche peut être de multiplier les expérimentations, sans jamais faire le pas du passage à l'échelle.

#### **ANGERS ET LA FABRIQUE DES OBJETS CONNECTÉS :**

Angers est peut-être une des villes les plus symptomatiques de cette approche. La ville est forte d'un patrimoine industriel important dans le domaine de l'électronique (avec Thompson, Folan), qu'elle cherche à entretenir et développer. Le choix d'Angers a été de favoriser la fabrication locale des objets connectés. La ville a créé la Cité des Objets Connectés, sorte d'usine où les start-ups sont accompagnées pour créer leurs objets connectés de A à Z. En 2015, le label French Tech IoT a été accordé à la ville pour récompenser cette démarche.

Le territoire municipal est vu comme un territoire d'expérimentation. Ainsi, de nombreuses expérimentations IoT sont menées, souvent à des échelles très réduites. La ville n'a pas elle-même de stratégie IoT définie à grande échelle. Si le cas d'usage de l'expérimentation menée s'avère pertinent pour la ville, elle peut déboucher sur un contrat.

Les élus ont choisi la posture de facilitateur de l'innovation, et tout est pensé dans cet objectif. La flexibilité des démarches est un aspect important de la politique de la ville sur l'internet des objets. La ville a ainsi créé la PAVIC, plateforme des objets connectés qui agrège les données des différents projets connectés. Le mode de gouvernance retenu pour cette structure se veut lui conférer une grande flexibilité. Il s'agit d'une association de loi 1901, ayant des accords de convention avec l'agglomération. La collectivité fait partie de la gouvernance, mais la structure est voulue pour que la collectivité "lâche prise" progressivement, tout en gardant un droit de regard. La ville considère en effet qu'elle n'a pas vocation à tout faire dans ce domaine.

### 5.1.3 Approche par le marketing territorial

Le marketing territorial peut également être un moteur fort pour le développement de l'internet des objets. Certaines villes veulent se positionner en leader du secteur, et déploient donc une stratégie très volontariste. C'est une logique "techno push". Cette logique peut être dangereuse, notamment avec le risque de développer des projets inutiles ou non pertinents. L'exemple du boulevard connecté de Nice semble entrer dans cette logique. La ville voulait développer l'internet des objets, et n'a pas assez bien défini le cas d'usage, ce qui a conduit à l'échec du projet. Une logique de marketing territorial peut cependant être porteuse et produire des connaissances. Le boulevard connecté à Nice a ainsi permis à la ville de mener un premier projet, et d'apprendre les erreurs à ne pas reproduire.

Il semble que, si cette logique était très présente au début de l'internet des objets, les collectivités soient plus conscientes aujourd'hui de la nécessité de bien définir le besoin et la pertinence du cas d'usage lors de la conception du projet. La logique de marketing territorial est presque systématiquement présente dans les projets IoT. Cependant, tant qu'elle n'occulte pas la définition claire et précise du besoin, et l'implication de la collectivité très en amont du projet, elle n'est pas délétère. A Saint Sulpice la Forêt par exemple, les conséquences du projet en termes de rayonnement de la commune ont surpris les élus, qui s'en sont maintenant saisis.

## 5.2 Une étape indispensable, la définition du besoin

Ce qui ressort de notre étude, et semble être de plus en plus pris en compte par les acteurs du domaine, est l'importance de bien définir le besoin. La définition du besoin doit être véritablement à l'origine du projet, et la technologie numérique l'outil qui permet de remplir ce besoin. Au cours de notre étude, nous avons pu voir que les projets qui n'étudient pas suffisamment le besoin, ou ont une approche "techno-push" (ce qui peut être une dérive des approches par le développement économique et par le marketing territorial), risquent d'être des échecs. Le cas du boulevard connecté déployé à Nice en a été un exemple flagrant : la solution de stationnement intelligent adoptée n'était pas suffisamment ergonomique, et n'a pas été adoptée par les usagers.

La définition du besoin passe par plusieurs phases :

- Identification du besoin ;
- Choix de la technologie et définition de la qualité de service ;
- Validation du cas d'usage.

### 5.2.1 L'identification du besoin

L'identification du besoin est la première étape du projet. Bien que cela semble une évidence, les exemples du boulevard connecté de Nice ou de l'expérimentation de la place de la Nation montrent que cette étape ne va pas forcément de soi dans la réalité. Pour rappel, l'expérimentation place de la Nation n'a pu fournir aucune donnée d'intérêt à la ville par manque d'implication de cette dernière dans la définition du besoin (il faut rappeler

que l'objectif principal de l'expérimentation était le test par CISCO du déploiement des capteurs).

On peut distinguer plusieurs cas de figure dans l'identification du besoin :

- **Un besoin est clairement défini, et l'internet des objets identifié comme réponse potentielle à ce besoin.** Dans ce cas, le projet est clairement à l'initiative de la collectivité, qui va ensuite chercher dans la sphère privée les compétences dont elle a besoin pour l'aider à affiner ce besoin et mettre en oeuvre la solution. C'est le cas typiquement des villes ayant eu une approche par le besoin, telles Saint Sulpice la Forêt ou Paris pour la rénovation de ses centrales thermiques. Dans ce cas de figure, on est souvent sur des cas d'usage de l'internet des objets assez fiables et clairement identifiés.
- **La collectivité a une volonté globale d'amélioration de son action, et est consciente que l'internet des objets peut apporter des solutions.** Dans ce cas, c'est le dialogue avec la sphère privée ou académique qui permet d'identifier le besoin, en mettant en regard les problématiques de la collectivité et les potentialités de l'internet des objets. Il s'agit d'une démarche de co-construction entre la collectivité et les acteurs privés ou académiques.

Le premier cas de figure s'appuie sur des cas d'usages et des technologies déjà éprouvées. En cela, il ne participe pas forcément à l'innovation dans le domaine et se restreint à un nombre limité de cas d'usage (optimisation de la consommation énergétique, avec parfois le couplage avec des données contextuelles). Les technologies (capteurs, connectivité, traitement des données) ne cessent d'évoluer, le secteur étant entraîné par un rythme élevé d'innovation. Dans beaucoup de cas, la collectivité cherche à se placer à la pointe, à participer à cette innovation, en identifiant de nouveaux cas d'usages et en développant de nouveaux services. C'est le cas notamment pour les villes ayant adopté des stratégies fortes de développement économique de la filière et de marketing territorial. Le besoin est alors beaucoup plus complexe à définir ; un travail en bonne intelligence avec les acteurs privés ou académiques est alors nécessaire. Dans cette démarche de co-construction, la collectivité apporte son savoir-faire technique de la ville et ses problématiques, et les acteurs privés apportent leur connaissance de l'internet des objets.

Cette étape est gagnante pour toutes les parties. Pour les premiers développements de l'internet des objets, les acteurs privés avaient tendance à vouloir apporter des solutions toutes faites, clé en main, aux collectivités. Cela a conduit à des erreurs comme le boulevard connecté à Nice. Il semble qu'il y ait aujourd'hui une prise de conscience parmi les acteurs privés de cet enjeu. Pour pouvoir développer des projets pertinents, ils doivent en effet travailler avec les collectivités pour bénéficier de leur savoir-faire concernant les métiers de la ville, et développer avec elles des solutions sur mesure. La tendance naturelle des acteurs privés reste cependant de parvenir à développer des solutions répliquables (cela leur permettrait d'économiser des coûts), mais ils sont conscients des erreurs dues au manque de définition du besoin.

## LA DÉFENSE : DÉFINITION DU BESOIN EN PARTENARIAT AVEC UN INSTITUT DE RECHERCHE

L'EPADESA (établissement public d'aménagement de la Défense Seine Arche), cherchant à évoluer vers un modèle de Smart City, a lancé une démarche de modernisation de son action à l'aide notamment de l'internet des objets. Cette démarche est menée en partenariat avec l'institut de recherche Efficacity, afin de définir les cas d'usages possibles de l'internet des objets sur la Défense. Des ateliers sont organisés entre les équipes métiers et des chercheurs d'Efficacity. Dans un premier temps, ces ateliers permettent à Efficacity de saisir les problématiques et les enjeux des différents métiers sur le quartier de la Défense, les données dont ils disposent déjà, etc. Dans une seconde phase, Efficacity, à partir de sa connaissance de l'internet des objets, proposera des cas d'usage aux services métiers, et pourront discuter avec eux de la pertinence de ces cas d'usage. Il s'agit d'un processus itératif en étroite collaboration avec les services techniques qui seront amenés à utiliser les solutions apportées par Efficacity.

Les sujets de gouvernance (chapitre 6) et de retour sur investissement (chapitre 8) sont également à considérer au moment de la définition du besoin.

### 5.2.2 Le choix de la solution technique

L'identification précise du besoin conduit ensuite à définir une solution technique adaptée à ce besoin. Cependant, comme on l'a vu précédemment, cet enchaînement chronologique n'est pas si clair en réalité, puisque la définition du besoin émerge de la confrontation entre les problématiques de l'utilisateur et les technologies existantes. Un certain nombre de points d'attention sont à considérer lors du choix et de la caractérisation de la solution technique.

Les villes ont souvent déjà accès à une grande quantité de données dans chacun de leurs métiers (compteurs d'eau, trafic, transports, etc.). Un des premiers enjeux de l'internet des objets consiste donc à permettre un dialogue entre ces données. On retrouve la problématique de la transversalité : modifier la gouvernance pour permettre plus de transversalité peut déjà produire beaucoup de valeur ajoutée, avant même de mettre en place physiquement de nouveaux objets connectés dans l'espace public. Cette problématique est clairement identifiée dans la démarche de conception de l'EPADESA.

Le choix de la technologie, aux différents niveaux du système, n'est pas forcément aisé étant donné la rapidité de l'innovation dans ce secteur.

- Concernant les **terminaux**, le choix est dicté par le type de donnée que l'on souhaite collecter, le débit et la fréquence d'émission que l'on recherche, l'autonomie, l'intégration dans l'espace public, les conditions d'utilisation (chocs...), etc. (cf. partie 2.3) ;
- Concernant la **connectivité**, comme détaillé en partie 2.2, le marché n'est pas encore stabilisé, et chaque technologie est plus ou moins adaptée au cas d'usage considéré. **La stratégie idéale dans la situation actuelle semble donc être d'éviter l'enfermement dans une technologie de connectivité**, qui pourrait fermer la porte à d'autres usages ou à certains partenaires privés. Le Grand Lyon a ainsi décidé de ne pas déployer son propre réseau pour tous ses usages IoT, et a

laissé chacun de ses partenaires privés mettre en place la connectivité qui lui convenait. Cela conduit à des redondances (il y a plusieurs réseaux différents selon les services), mais semble aujourd'hui justifié.

Il s'agit enfin de définir le niveau de service attendu et les indicateurs permettant de le mesurer. Sur ce point, l'ARCEP met en garde sur le fait que les indicateurs de performance sont très hétérogènes sur le marché, du fait du faible niveau de standardisation de ce dernier. Il faut également éviter de confondre l'internet des objets avec la téléphonie mobile. Bien qu'ils utilisent le même type de technologie, les logiques sont très différentes. En téléphonie mobile, on a une logique globale, consistant à maximiser la couverture et le débit. Or pour l'internet des objets, la qualité de service varie beaucoup selon l'usage. La couverture ne suffit pas à avoir une bonne qualité de service. Quant au débit, il dépend de l'usage (une fois par jour peut suffire pour un compteur d'eau connecté par exemple). Des acteurs privés mettent en garde contre la tentation de certaines des collectivités avec qui ils travaillent à exiger des indicateurs de qualité de service disproportionnés avec le besoin. Les raisons pour cela peuvent être une mauvaise connaissance du domaine, ou plus couramment la volonté de pouvoir communiquer sur une qualité de service impressionnante (approche par le marketing territorial). **Il semble donc primordial de bien proportionner la qualité de service attendue au service que l'on souhaite rendre.**

## 5.3 Validation du cas d'usage et déploiement

On constate aujourd'hui que seulement très peu de villes déploient des projets internet des objets à une échelle opérationnelle, alors qu'on trouve un très grand nombre de pilotes et d'expérimentations. La question peut se poser : faut-il passer par une phase d'expérimentation ? On cherchera également à aborder ici la question du passage à l'échelle.

### 5.3.1 Pertinence de l'expérimentation

L'expérimentation est plus ou moins nécessaire selon le cas d'usage et son degré de fiabilité. Un certain nombre de villes, déployant une approche par le besoin, a décidé de ne pas passer par une étape d'expérimentation. On peut citer les cas de Saint Sulpice et de Saint Amand Montrond, qui ont développé directement une solution opérationnelle ayant des résultats tangibles pour la ville. La petite échelle et les cas d'usage relativement bien connus de ces projets facilitent évidemment le passage direct à une échelle opérationnelle. Il faut noter que Saint Amand Montrond, après de premiers déploiements sur des cas d'usages fiables et au ROI assuré, s'est lancé dans des solutions plus innovantes (stationnement intelligent, safe city, etc.) dans cette même logique. C'est la même stratégie qui a été adoptée par Paris pour le renouvellement de ses centrales thermiques, ou, à une échelle encore plus grande, par Dijon, qui vient de lancer un vaste projet de modernisation de ses services grâce à un système internet des objets très transverse. L'avenir dira si l'expérience de Dijon, sans pilote préalable, est un succès. Ces exemples montrent que, **selon le cas d'usage et l'échelle du projet, il n'est pas forcément nécessaire de passer par une phase d'expérimentation.**

Les approches par le développement économique, qui sont nombreuses, surtout dans les villes de grande taille, expliquent en partie le fait que les projets soient actuellement en majorité des expérimentations. Il s'agit en effet d'accompagner des start-ups dans le développement de leurs technologies innovantes. Les cas d'usage sont donc souvent nouveaux, et il est nécessaire de valider leur pertinence par l'expérimentation. On peut citer les projets de smart grid, ou des projets s'apparentant à la recherche comme l'étude des impacts de l'arrosage sur l'îlot de chaleur urbain à Lyon. Il semble cependant que les collectivités privilégient souvent l'expérimentation, même dans des cas où il serait possible d'aller plus vite, par un manque de connaissances du domaine.

### **5.3.2 Problématique du passage à l'échelle**

Dans le cas où le projet passe par une phase d'expérimentation, il faut penser le passage à l'échelle opérationnelle. Un point de blocage identifié est le risque que le partenaire privé surdimensionne légèrement le système en phase d'expérimentation pour s'assurer d'obtenir le marché. L'échelle d'un pilote étant réduite, il lui est en effet possible d'avoir une couverture réseau optimisée, et le traitement des données ne pose pas de problème en termes de volume. Dans ce cas, le passage à l'échelle opérationnelle peut apporter des dysfonctionnements importants qui n'auront pas été identifiés en amont : baisse drastique de la qualité de service, difficulté à traiter les données, etc. Il est donc nécessaire que la collectivité soit particulièrement vigilante sur ce point. Il peut être en partie traité sur le plan contractuel (cf. partie 7).

## Chapitre 6

# Quelle gouvernance pour l'internet des objets ?

L'internet des objets est un sujet par essence transverse. Pour combiner les données provenant de différents projets, permettre l'interpolation entre des données de métiers différents ou même traiter des données complexes spécifiques à un métier, il faut dépasser la logique des silos métiers. Le fonctionnement de l'IoT perturbe donc les organisations des collectivités, en particulier dans les grandes collectivités organisées sur la base de silos métiers très affirmés. Nous avons donc cherché à nous intéresser à la gouvernance de ce sujet mise en place dans les collectivités : comment les collectivités mettent en place des projets d'IoT avec une certaine cohérence tout en conservant des spécialités métiers affirmées pouvant réaliser leurs missions ?

Deux approches semblent avoir été retenues par les collectivités : l'approche en silos et l'approche transversale.

### 6.1 L'organisation en silos spécialisés par métiers

L'organisation en silos permet de conserver les spécificités de chacun des métiers. Chaque direction reste responsable de ses compétences mais a aussi la responsabilité de développer et mettre en place les solutions techniques pour faciliter ces missions et en particulier l'internet des objets. Cette solution est la plus proche de l'organisation existante des collectivités, elle nécessite moins de réorganisation et permet de conserver l'ensemble des compétences métiers. Cette organisation ou une organisation proche a été retenue par la Ville de Paris et la Ville de Marseille. L'objectif est de conserver la spécificité et la technicité des métiers. Cependant une organisation en silos limite les interactions entre les différentes directions et l'interopérabilité entre les systèmes. Chaque direction étant responsable du développement de systèmes intelligents, elle pourra choisir sans prendre en compte les interactions avec les autres systèmes déjà présents dans la collectivité et la mutualisation des infrastructures de connectivité sera d'autant plus compliquée. Pour dépasser cette limite les collectivités mettent en place des missions ou un service responsable de l'internet des objets. Ce service, dont les responsabilités peuvent aller de l'établissement de règles et bonnes pratiques au portage de projets en concertation avec les directions métiers, apporte le lien et la compétence technologique aux directions.

## 6.2 L'organisation transversale

A l'opposé, des collectivités, comme le Grand Lyon, ont choisi de bouleverser leur organisation pour créer un service responsable de l'ensemble de la politique numérique et Smart City. Ce service a alors en charge l'ensemble des missions relatives au projet numérique et d'internet des objets, modifiant ainsi profondément le fonctionnement de la collectivité. Les métiers sont dépassés pour axer les travaux sur le projet de numérisation. Cette solution nécessite une conduite du changement beaucoup plus importante. Elle permet cependant d'arriver à terme à une organisation plus flexible et de développer des interactions entre les métiers beaucoup plus fortes.

Cette organisation peut en particulier être adaptée dans le cas de la mise en place d'un système de gestion centralisée de type hyperviseur. Ces systèmes dépassent donc par essence les métiers, la stratégie et l'objectif l'emporte ce qui se répercute sur l'organisation.

## 6.3 La gouvernance a un impact faible sur la réussite des projets contrairement à l'implication des équipes

Pendant l'ensemble de nos entretiens, nous avons porté une attention particulière à la gouvernance et l'organisation mise en place pour piloter l'internet des objets. Si nous avons dégagé deux stéréotypes d'organisation, la réalité est souvent plus nuancée. Les organisations mise en place sont plutôt intermédiaires entre ces deux formes extrêmes.

Les stratégies des collectivités diffèrent et se traduisent souvent en termes d'organisation, selon les tailles et les organisations des collectivités, l'organisation interne est plus ou moins proche de l'un ou l'autre des deux stéréotypes. Ces organisations ont pour la plupart permis d'aboutir à des projets d'internet des objets et nous n'avons pas pu constater de différence dans la réussite des projets liée à l'organisation sous-jacente des services.

Cependant un facteur important de réussite que nous avons pu dévoiler dans l'ensemble des projets est l'implication de la collectivité et de ses services. En effet, les projets ayant aboutis à des résultats convaincants s'appuyaient toujours sur un portage politique assez fort et une implication des équipes dans l'ensemble du processus. Dans ces projets, ce sont les équipes métiers de la collectivité proches du terrain, qui ont une connaissance du métier, des pratiques et des réalités de la collectivité, qui ont fait remonter les besoins. La mise en place de groupes de travail, appuyés par des professionnels du métier mais aussi des professionnels de l'internet des objets semble être un facteur de réussite des projets, comme cela est en cours à La Défense dans la définition concertée d'une nouvelle stratégie IoT entre l'établissement d'aménagement EPADESA et un institut spécialiste de l'Internet des objets. Pour que cette étape soit une réussite, il faut qu'elle soit accompagnée d'une montée en compétence des équipes pour une appropriation et une bonne compréhension par l'ensemble des acteurs des techniques utilisées. La formation des équipes et la conduite du changement sont donc des facteurs importants de réussite d'un projet Smart City et/ou IoT.

# Chapitre 7

## Contractualisation et lien avec le privé

Le développement de l'internet des objets nécessite des technologies et des savoirs complexes. Dans la majorité des situations, la collectivité ne possède pas la capacité de mettre en place, seule, de tels projets. Elle doit donc recourir à un contrat avec une entreprise privée spécialisée dans ce domaine. Pour cela deux cas de figure existent : soit l'internet des objets est l'objet même du marché et la collectivité contractualisera directement avec le prestataire en définissant ses besoins et contraintes ; soit l'internet des objets est une prestation accessoire ou mineure d'un marché de prestation de travaux ou services pour la collectivité. Dans ce cas, en complément des autres prestations, la collectivité définira l'ensemble de ses exigences en terme d'internet des objets. Cependant, le prestataire IoT sera probablement un co-traitant ou sous-traitant du principal partenaire privé. L'exemple le plus répandu de ce type de marché concerne l'éclairage public des collectivités. Dans ces marchés, la mise en place de capteurs sur les mâts d'éclairage est de plus en plus développée et intégrée dans les prestations du marché d'éclairagiste.

Les règles de passation des marchés publics ne diffèrent pas, pour l'internet des objets, des autres marchés publics. La collectivité devra donc, en particulier, appliquer le formalisme de mise en concurrence adapté à la valeur estimée des prestations conformément à la réglementation, modifiée par le décret de mars 2016 [13].

### 7.1 Marchés publics et innovation, une interaction compliquée

Si certains marchés de l'internet des objets sont aujourd'hui assez matures pour permettre des marchés publics avec une concurrence (voir partie 7.3), beaucoup des projets mis en place constituent encore de l'expérimentation ou du développement de solutions innovantes. En effet, pour développer des solutions innovantes, les entreprises privées du domaine de l'IoT ont besoin de terrains d'expérimentation comme dans d'autres domaines . Si le développement des solutions technologiques peut se faire en laboratoire, l'expérimentation a besoin de mettre à l'épreuve la solution à la réalité du terrain et des difficultés amenées par une instrumentation en milieu réel. Ce besoin rencontre la volonté de certaines collectivités de porter l'innovation ou de répondre à des besoins non couverts par les technologies connues à ce jour.

La maîtrise d'ouvrage doit donc trouver un cadre contractuel pour encadrer ces pres-

tations. Mais elle est, réglementairement, responsable de l'expression et de l'évaluation du besoin en amont du lancement de la phase de mise en concurrence. La collectivité en recherche d'une solution innovante ou expérimentale ne peut cependant pas définir ces éléments, non connus par avance. Dans ce cas, le maître d'ouvrage ne peut raisonner dans le cahier des charges qu'en termes d'objectifs mais il n'a ni la capacité d'évaluer la valeur des prestations à réaliser et ne peut pas non plus anticiper l'équilibre économique des futures prestations. Dans la plupart des cas, il ne connaît que le cas d'usage des technologies et espère trouver une solution technique en réponse à ces problématiques.

De plus, les délais, démarches et contraintes nécessaires à la réalisation d'un marché public ne sont pas compatibles avec les délais de l'innovation. Quand l'innovation voit les technologies et savoirs changer très rapidement, le délai de réalisation d'une procédure de mise en concurrence est en moyenne de 9 mois à 1 an. Les marchés ont vocation à durer plusieurs années ce qui n'est ni compatible avec de l'innovation ni avec une expérimentation qui est amenée à évoluer de façon flexible alors qu'un marché public ne peut être modifié qu'à la marge par des avenants formalisés.

Pour répondre à ces difficultés, plusieurs solutions juridiques sont ouvertes dans la réglementation de la commande publique. Une définition légale de l'innovation est donnée à l'article 25 II 2 du décret relatif à la commande publique [13] :

« Sont innovants les travaux, fournitures ou services nouveaux ou sensiblement améliorés. Le caractère innovant peut consister dans la mise en œuvre de nouveaux procédés de production ou de construction, d'une nouvelle méthode de commercialisation ou d'une nouvelle méthode organisationnelle dans les pratiques, l'organisation du lieu de travail ou les relations extérieures de l'entreprise ».

Cette définition sera donc le cadre dans lequel s'inscrira l'ensemble des propositions et solutions détaillées ci-dessous.

### **7.1.1 L'Accord de R&D et de Recherche, une solution centrée sur l'expérimentation sans possibilité de poursuite**

L'accord de recherche et développement est défini par les articles 30 II et III [13] qui prévoient une exclusion de ces marchés de l'obligation de mise en concurrence :

"(...)

.II. - Les pouvoirs adjudicateurs peuvent également négocier sans publicité ni mise en concurrence préalables les marchés publics de fournitures ayant pour objet l'achat de produits fabriqués uniquement à des fins de recherche, d'expérimentation, d'étude ou de développement, sans objectif de rentabilité ou d'amortissement des coûts de recherche et de développement. III. - Les entités adjudicatrices peuvent également négocier sans publicité ni mise en concurrence préalables les marchés publics suivants : 1° Les marchés publics conclus à des fins de recherche, d'expérimentation, d'étude ou de développement, sans objectif de rentabilité ou d'amortissement des coûts de recherche et de développement. La passation d'un tel marché public ne doit pas porter préjudice à la mise en concurrence des marchés publics ultérieurs qui poursuivent ces mêmes objectifs ;

(...)"

L'accord de recherche et développement permet donc d'expérimenter à échelle plus

ou moins importante sur un territoire des solutions innovantes. Pour que la notion de recherche et développement soit retenue il faut cependant respecter un certain nombre de critères :

- Des objectifs et des résultats partagés entre la collectivité et l'entreprise. Si l'ensemble des résultats sont réalisés pour la collectivité et dans le seul but de répondre à une commande, le marché pourrait être requalifié.
- Les coûts de recherche doivent être en partie portés par l'entreprise (voir l'article précédent).

Malgré ces restrictions, l'accord de recherche et développement répond à de nombreuses problématiques. Il permet de contractualiser dans un délai compatible avec les expérimentations et sans démarche administrative importante dans des modalités plutôt souples.

Pour plus de flexibilité et permettre des expérimentations successives sur un même territoire ou des expérimentations sur des territoires différents, certaines collectivités, comme l'EPADESA à la Défense, utilisent l'accord cadre de recherche et développement. L'accord cadre est une forme de marché public conclu par un ou plusieurs acheteurs publics avec un ou plusieurs opérateurs économiques ayant pour objet d'établir les règles relatives aux bons de commande ou marchés subséquents, marchés à passer au cours d'une période donnée, notamment en ce qui concerne les prix. L'accord cadre fixe donc le cadre des futurs marchés ou bons de commandes relatifs à des expérimentations dans un domaine, un territoire et pour une durée spécifiée. Les accords cadres de R&D, peuvent être contractualisés sans mise en concurrence, tant que les objets de l'ensemble des marchés subséquents comportent de l'innovation. Un tel contrat permet ensuite de contractualiser plusieurs expérimentations avec un ou plusieurs prestataires tant que celles-ci s'inscrivent dans le cadre objet de l'accord cadre.

Cependant, la limite importante de ces marchés est qu'ils ne permettent de contractualiser que la recherche et le développement de nouveaux produits. Si la collectivité souhaite ensuite acquérir la solution développée pendant la phase de R&D, elle ne peut pas le faire directement et doit remettre cette solution en concurrence, en respectant l'équité entre l'ensemble des candidats. La collectivité devra donc fournir le maximum d'information possible aux concurrents, en respectant le secret industriel et commercial de l'entreprise ayant réalisé l'expérimentation. Les entreprises du secteur peuvent donc s'interroger sur la nécessité d'investir dans la phase de recherche et développement, nécessitant un investissement financier important de leur part, alors qu'une mise en concurrence incluant une part importante des résultats de la phase de recherche sera ouverte dans les mois ou les années suivantes, même si l'avantage concurrentiel pour l'entreprise qui a réalisé la phase de recherche et développement est réel du fait de sa connaissance plus importante du territoire et de la solution mise en place.

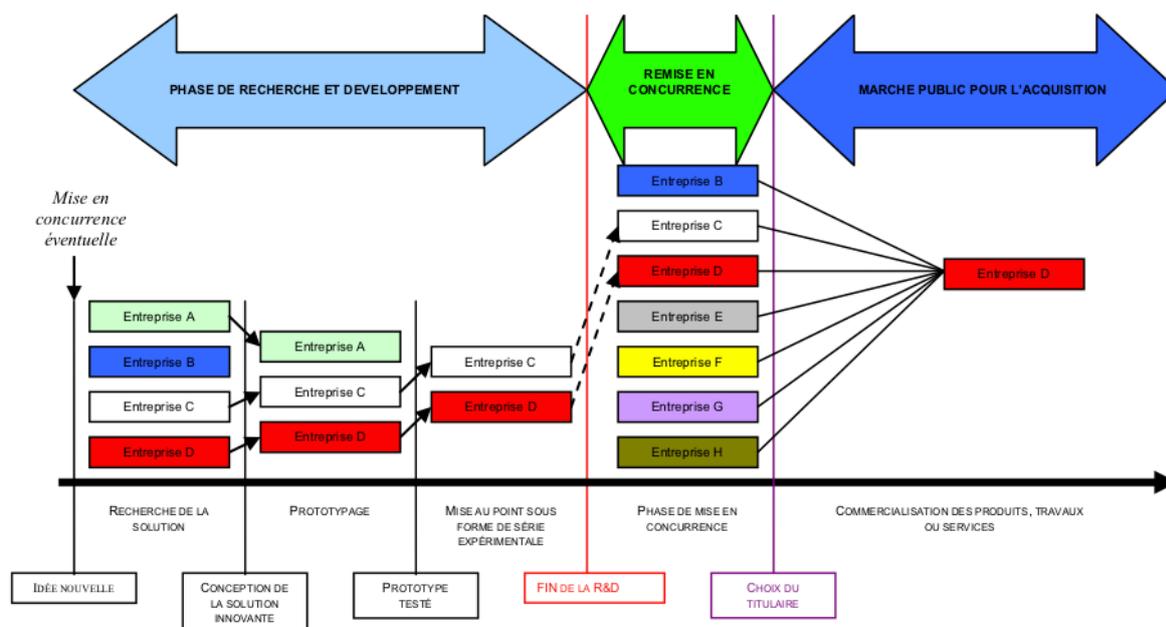


FIGURE 7.1 : Principales étapes de l'accord R&D [11]

De plus, la remise en concurrence prend un temps important, ce qui peut poser des difficultés à la collectivité en particulier dans le cadre d'un service rendu au public. La phase d'expérimentation va en effet permettre d'offrir ce nouveau service aux citoyens mais il s'arrêtera de fait à la fin de l'expérimentation et ne pourra reprendre qu'après la phase de mise en concurrence qui peut durer de 6 mois à plus d'un an, provoquant un arrêt dans le service rendu à l'utilisateur.

### 7.1.2 Le partenariat d'innovation, une solution pertinente mais avec une procédure complexe

Les partenariats d'innovation ont été introduits par le décret n°2014-1097 du 26 septembre 2014 pour répondre à cette problématique. Ils sont définis dans les articles 93 et suivants du décret du 25 mars 2016 relatif à la commande publique [13]. Ils permettent, par une mise en concurrence en plusieurs phases, sous la forme d'un dialogue compétitif, de contractualiser à la fois la recherche et le développement d'un produit mais aussi son acquisition finale par la collectivité et son éventuel déploiement sur le territoire.

Dans un dialogue compétitif, le processus se déroule donc en plusieurs phases. Tout d'abord la collectivité sélectionne les candidatures en capacités ; techniques, professionnelles et financières, pour réaliser les prestations. Le nombre de candidats retenus pour la phase suivante étant libre ou défini en amont dans le règlement de la consultation. Les candidats retenus se voient offrir un contrat individuel de partenariat dans lequel est précisé les montants d'indemnisation pour chacune des phases à venir.

La maîtrise d'ouvrage remet alors à l'ensemble des candidats retenus un cahier des charges comprenant l'ensemble des stipulations communes. Ce cahier des charges sera ensuite complété en fonction de l'avancée des travaux de recherche et d'innovation des candidats et des décisions de la maîtrise d'ouvrage pour aboutir à un cahier des charges final comprenant l'ensemble des exigences de la maîtrise d'ouvrage.

Tous les candidats retenus travaillent sur une proposition de recherche, ils doivent aboutir à un résultat dans un délai fixé par la maîtrise d'ouvrage. Après des échanges entre celle-ci et les candidats, et une réponse écrite finale, un classement des projets à ce stade est établi selon les critères définis dans le règlement de la consultation. Selon les modalités, un ou des candidats peuvent alors être éliminés. Les candidats ayant franchi cette étape sont retenus à la phase de développement. Cette phase intègre une expérimentation sur site avec un retour d'expérience partagé entre la maîtrise d'ouvrage et le candidat. La procédure se déroule ensuite de la même façon à chacune des phases du processus. A la fin de chacune des phases, tous les candidats retenus sont de nouveau évalués et des candidats peuvent être éliminés. L'objectif est d'aboutir en fin de processus à un projet répondant à l'ensemble des demandes de la collectivité.

A la fin de la procédure la collectivité peut donc mettre au point avec le candidat retenu le contrat permettant l'acquisition de la solution définitive si la recherche et le développement a abouti. La collectivité n'a pas l'obligation d'acquérir la solution finale si elle ne donne pas satisfaction, si d'autres solutions innovantes sont apparues sur le marché ou si le coût de la solution finale est jugé trop important. Le partenariat d'innovation permet donc une expérimentation avec une véritable possibilité à terme d'achat de la solution mais sans contrainte d'acquisition pour la collectivité.

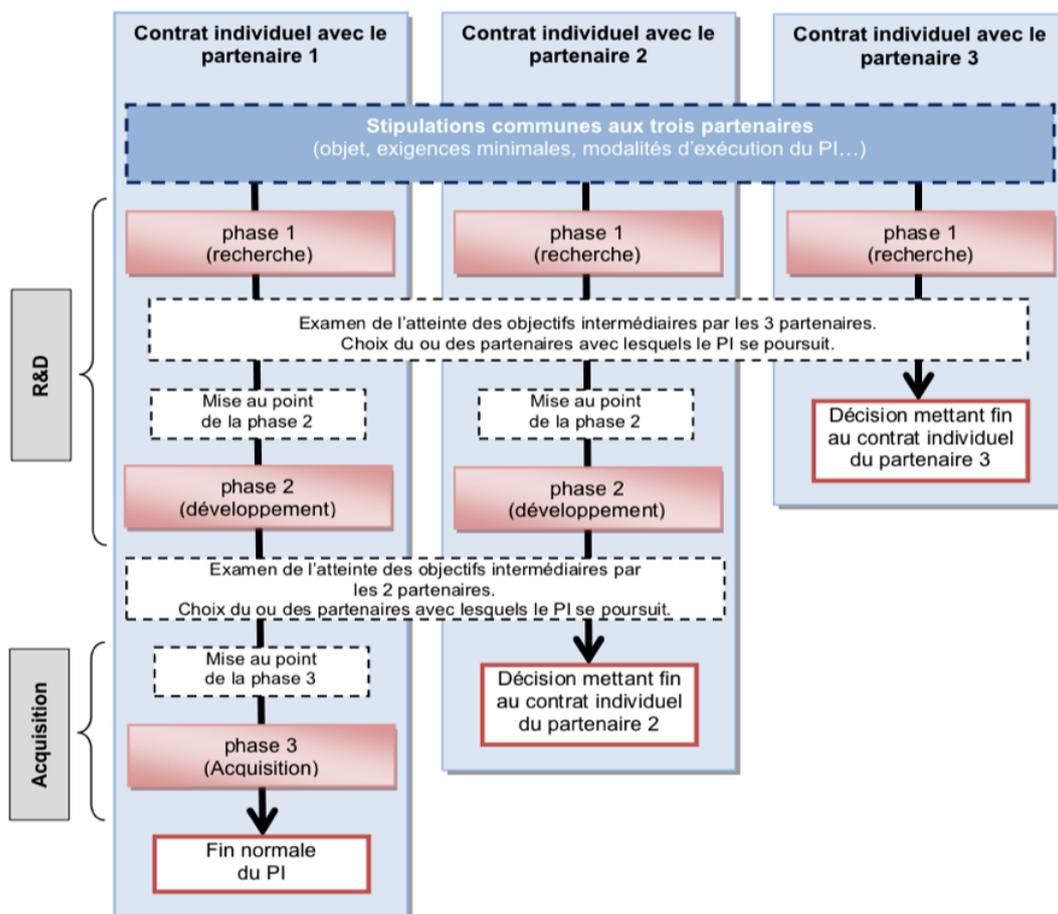


FIGURE 7.2 : Principales étapes du partenariat d'innovation, [11]

Cependant, les collectivités qui ont utilisé cette procédure font remonter des difficultés. En effet, cette procédure est complexe et nécessite un suivi juridique et technique important. La collectivité doit être en mesure de définir dès le début de la procédure les critères qui permettront d'évaluer les solutions proposées aux différentes phases du projet pour l'ensemble des candidats alors que les propositions faites sont innovantes. Les investissements pour les entreprises sont importants dans les différentes phases du dialogue compétitif ainsi que les enjeux financiers en fin de procédure, provoquant de fait des risques de recours importants et des recours fréquents dans ce type de procédure. Pour éviter des écueils juridiques ou en limiter l'impact, les collectivités font appel à des assistants à maîtrise d'ouvrage, en particulier juridiques.

Cette solution semble cependant être la plus pertinente pour des projets complexes nécessitant une phase de recherche ou d'expérimentation et une continuité de service.

### **7.1.3 L'appel à projet, une solution avec moins de pilotage de collectivité**

La passation d'un appel à projet peut aussi être une solution pour développer un projet innovant sur un territoire ou dans un secteur d'activité d'une collectivité. L'appel à projet, bien que lié à la commande publique, permet une contractualisation beaucoup plus libre. Une mise en concurrence est préconisée dans la majorité des cas, avec des modalités devant être étudiées au cas par cas. L'appel à projet n'est en effet pas à proprement parler une forme de contrat mais le moyen mis en place par la collectivité pour indiquer sa volonté de mettre à disposition un espace ou solliciter des compétences. Il peut à terme déboucher sur diverses formes de contrats.

Pour ne pas être requalifié comme un marché public, ce qui poserait des difficultés liées au formalisme de la mise en concurrence, l'appel à projet doit respecter un certain nombre de règles et en particulier les prestations exécutées ne doivent pas être la réponse à une commande de la collectivité. L'appel à projet permet ainsi à une collectivité d'ouvrir avec un certain nombre de contraintes un espace d'innovation pour des entreprises privées mais ne permet pas de répondre à un besoin de la collectivité en dehors du cas des accords de recherche et développement, exclus des obligations de mise en concurrence (voir partie 7.1.1).

### **7.1.4 Accords moins formels : contrats inférieurs au seuil des marchés publics, convention d'occupation du domaine public ou "gentleman agreement"**

Pour éviter les difficultés administratives et apporter une réponse plus souple et conforme à la logique d'une expérimentation, d'autres collectivités préfèrent des accords moins formalisés avec les entreprises.

La solution la plus répandue reste de réaliser un contrat pour un montant inférieur au seuil de mise en concurrence prévu dans la réglementation française et européenne [13]. Dans ce cadre, il n'y a alors pas de difficulté pour éviter la mise en concurrence et la contractualisation peut intervenir dans un délai très rapide. Cependant quelques écueils juridiques restent à éviter dans ce cas :

- L'accumulation de marchés à faibles montants pour un même besoin n'est pas autorisée. En effet, si la réglementation prévoit un seuil en dessous duquel il n'est pas nécessaire de mettre en concurrence les entreprises, celui-ci doit être entendu en intégrant l'ensemble des marchés successifs passés sur un même besoin ou l'ensemble des prestations concourant à un même besoin. La passation de cinq marchés à 8 000 € pour un même besoin sans mise en concurrence n'est donc pas juridiquement acceptable, que ce soit successivement sur un même territoire ou en simultané sur plusieurs territoires et ceci même si les contrats sont réalisés avec des entreprises différentes.
- L'utilisation de l'avenant pour développer sur un territoire plus important ou sur une échelle plus importante de temps l'expérimentation reste limitée par le seuil des marchés publics.

Pour permettre une expérimentation sur le territoire sans préconisation spécifique de la collectivité, il est aussi possible de recourir à des contrats d'occupation de l'espace. C'est le modèle contractuel qui a été retenu par la Ville de Paris et Cisco pour l'expérimentation de la place de la Nation. L'utilisation de conventions d'occupation du domaine public ou d'autres formes de contrats ou d'accords pour l'occupation de l'espace peut en effet permettre d'autoriser l'occupation d'un espace pour un temps donné avec ou sans contrepartie financière. Dans ce cas, le contrat entre la collectivité et l'entreprise privée ne porte que sur l'occupation d'un espace du domaine public ou privé de la collectivité et non sur l'expérimentation. La collectivité ne peut donc pas imposer ses choix sur les modalités de l'expérimentation et l'entreprise privée investit seule dans la recherche. Cependant de tels contrats sont réalisés dans le cadre de partenariats entre des collectivités et des entreprises avec des objectifs en commun, permettant la réalisation d'expérimentations profitables pour les deux parties. Ce type de contrat, bien que plus limité dans son contenu, a l'avantage d'être très souple. Ils peuvent être réalisés avec ou sans mise en concurrence selon les enjeux financiers du contrat et conformément à la réglementation.

Des collectivités peuvent aussi avoir une politique de relation non contractualisée basée sur des accords tacites ou des "gentleman agreement" avec les entreprises. Dans ce cas, ce sont des prestations ne nécessitant aucun paiement ou prestation pour la collectivité. Cette solution, la plus simple, peut cependant poser des problèmes en cas de désaccord entre l'entreprise et la collectivité et ne permet aucune intervention de la collectivité dans la prestation. Une prestation qui donnerait lieu à un rendu même si elle ne donne lieu à aucun paiement par la collectivité est assimilée à un marché public par la réglementation et la jurisprudence. Dans le cas de prestations d'un faible montant, un marché sans mise en concurrence pourra cependant être réalisé pour régulariser ou anticiper de telles prestations.

## 7.2 Problématique du passage à l'échelle

Lorsqu'une expérimentation sur un territoire a permis d'aboutir à des résultats convaincants, l'objectif partagé de l'entreprise et de la collectivité est de passer à l'échelle. Cependant, ce passage comporte des écueils. La première difficulté est d'identifier les facteurs de succès de l'expérimentation. Une expérimentation sur un territoire est peut être un succès

du fait d'une spécificité de ce quartier. Par exemple, la fréquentation du quartier est-elle représentative de la fréquentation de l'ensemble du territoire de la collectivité? La collectivité et l'entreprise doivent donc prévoir un bilan approfondi de l'expérimentation pour identifier dans la mesure du possible les facteurs de succès. Dans cet objectif, une expérimentation par phases successives peut améliorer ce bilan en intégrant des territoires à caractéristiques différentes comme cela a été fait à Angers (voir partie 5.1.2).

De plus, l'expérimentation, à une échelle réduite, peut donner une version idéalisée des résultats. En effet, dans le cadre d'une expérimentation les équipements techniques ne sont pas soumis à la même charge que dans le déploiement final. Si le système est capable de gérer 20 impulsions simultanées, en sera-t-il de même quand il devra récupérer et exploiter les données de 100 ou 500 capteurs? L'expérimentation, si elle cherche à s'approcher des conditions réelles de fonctionnement, permet de se placer dans une situation plus confortable. Pour s'assurer du bon fonctionnement, le prestataire aura tendance à s'impliquer beaucoup, à déployer de grands moyens, et parfois même certains équipements redondants ou de façon plus dense, mais il ne pourra pas reproduire le même dispositif pour un déploiement à grande échelle du fait des surcoûts très importants que cela fera poser sur le projet.

L'expérimentation se déroule aussi sur une durée bien inférieure à la durée de vie estimée de l'ensemble des équipements. De ce fait, l'expérience atteste de la capacité des équipements à être efficaces pendant une durée de 6 mois à 1 an (notamment pour les terminaux). Mais une fois le passage à l'échelle réalisé, ces mêmes équipements devront fonctionner pendant une durée beaucoup plus importante et subir des dégradations liées aux conditions climatiques et à l'éventuelle présence de public ou de circulation. La durée plus courte de l'expérimentation permet aussi la mise en place de solutions transitoires pour l'alimentation ou la pose sur le site. Dans certains projets, les capteurs sont installés sur des supports provisoires ne nécessitant donc ni autorisation d'implantation, ni accord d'un acteur indépendant pour s'implanter, ni de travaux d'implantation. Pour une solution définitive et déployée à grande échelle, le prestataire et la collectivité devront trouver des supports à même de rester sur le site ce qui peut compliquer et augmenter le temps et le coût d'implantation sur le site.

L'adaptation d'une solution expérimentale à une échelle plus importante, nécessite donc une réflexion sur son adaptabilité et sur les adaptations qu'il convient d'intégrer pour permettre un fonctionnement optimal. Cette étape pose d'autant plus de difficultés quand c'est un petit opérateur qui a réalisé l'expérimentation. Une PME ou une start-up peut produire dans un délai réduit 5 ou 10 capteurs pour une mise en place sur site de façon "artisanale". Mais le processus de production pour obtenir 100 ou 1000 capteurs et les systèmes informatiques et réseaux pour les exploiter dans un délai réduit devient industriel. L'organisation à mettre en place et l'investissement à réaliser peut poser des difficultés, en particulier pour des sociétés devant réaliser en parallèle de ce processus leur transition ou maturation économique.

## 7.3 Industrialisation

Si les contrats de recherche et développement ou d'expérimentation ont été et sont encore aujourd'hui les principaux outils utilisés pour le développement de l'internet des objets, certains marchés sont suffisamment matures pour avoir une mise en concurrence. Dans ce cas les contrats prennent la forme plus classique de marché public de fournitures ou services. Cependant pour répondre à des objectifs spécifiques ou répondre à des enjeux de conception complexes, les collectivités s'appuient sur des montages et formes de contrats complexes. Ces montages ne sont pas spécifiques à l'internet des objets.

### 7.3.1 Les marchés de Conception Réalisation Exploitation Maintenance

Les marchés de conception réalisation sont une exception à l'obligation de séparation entre la maîtrise d'oeuvre et l'entreprise réalisant les prestations [13]. Elle est possible réglementairement, si des motifs d'ordre technique ou un engagement contractuel sur un niveau d'amélioration de l'efficacité énergétique rendent nécessaire l'association de l'entrepreneur aux études de l'ouvrage. Un tel marché public est confié à un groupement d'opérateurs économiques. Il peut toutefois être confié à un seul opérateur économique pour les ouvrages d'infrastructures. Le contrat de Conception Réalisation Exploitation Maintenance (dit CREM) permet donc de contractualiser la conception, réalisation mais aussi l'exploitation et la maintenance d'un système pendant un temps donné en une seule mise en concurrence et avec un seul groupement de prestataires. Ces contrats sont utilisés pour la création de bâtiments ou de systèmes particulièrement complexes.

Ce type de contrat a été utilisé pour la création de réseaux d'internet des objets, en particulier pour l'hyperviseur urbain de Dijon. Ce système est particulièrement complexe car il suppose de relier les différents systèmes de gestion de la ville tout en les modernisant et en offrant de nouveaux services en fin de contrat. Une attention particulière devra cependant être portée à la situation en fin de contrat pour permettre une appropriation du système par la collectivité et une continuité de service à la fin du CREM.

### 7.3.2 Contrat de Performance Énergétique

Le contrat de performance énergétique (CPE) est un contrat spécifique introduit en France par la loi Grenelle I du 3 août 2009. Par définition, le contrat de performance énergétique a pour objet de garantir dans la durée une amélioration de l'efficacité énergétique d'un système, d'un bâtiment ou ensemble de bâtiments existants. L'amélioration de l'efficacité énergétique consiste en la réduction de la consommation énergétique et, le cas échéant, en la modification du niveau de service. Un contrat de performance énergétique repose sur un engagement d'un partenaire privé de mettre en place tous les moyens pour obtenir l'objectif de résultats chiffrés sur la consommation ou l'impact environnemental d'une activité. Si l'objectif environnemental n'est pas atteint, des pénalités pourront être appliquées au prestataire en fin de contrat.

Les contrats les plus fréquents ont trait aux consommations énergétiques de l'éclairage public, comme à Rilleux la Pape [2] ou d'un parc de bâtiments comme le CPE école à Paris. Le prestataire privé a alors 4 à 20 ans pour moderniser le parc en faisant les choix

de technologies et d'investissements pertinents pour obtenir une réduction de 5 à 60 % des consommations énergétiques ou des émissions liées à l'activité.

Les contrats de performances énergétiques ne portent pas spécifiquement sur le déploiement de l'internet des objets. Mais l'IoT est souvent utilisé pour répondre à la principale difficulté : l'évaluation des performances énergétiques. En effet la principale difficulté de ces contrats est de pouvoir évaluer, en temps réel, les consommations des équipements. L'internet des objets permet d'obtenir un suivi régulier des consommations et des émissions sur des sites dispersés dans un territoire (voir partie 1.1.1) en limitant les coûts pour la collectivité et le partenaire privé. Ils peuvent alors identifier les surconsommations mais aussi évaluer les économies réalisées grâce aux interventions et investissements réalisés dans le cadre du marché.

### **7.3.3 Les Délégations de Service Public et Concessions, un vecteur important de données pour les collectivités**

Les Délégations de Service Public et les concessions ne sont pas à ce jour utilisées pour contractualiser des services IoT. S'il n'y a pas de service public ou de concession de service directement liée à l'internet des objets, les technologies de l'IoT sont utilisées dans ce type de contrat en particulier dans les contrats de distribution des fluides et énergies. La mesure des consommations énergétiques ou l'évaluation des fuites sur ces réseaux sont un enjeu important (partie 1.1.1). Comme pour les contrats de performance énergétique, l'internet des objets est donc un outil de mesure de la bonne performance du prestataire plutôt que l'objet de la prestation.

Les délégations de service public peuvent être une source importante de données pour les collectivités sur le territoire. En effet, la plus-value de l'internet des objets passe par la valorisation de la donnée (voir partie 8.3). Les contrats de délégation de service public de durée longue peuvent servir à accumuler des données pertinentes sur les consommations énergétiques des bâtiments publics ou d'un quartier mais il faut pour cela que les collectivités s'approprient ces enjeux et prévoient l'ensemble des clauses appropriées dans les contrats.

Cependant cette appropriation fait parfois face à l'opposition des délégataires de service public. En effet, ces données sont cruciales pour les prestataires qui ont pour objectif de les valoriser en interne. Les contrats de délégation de service public ont aussi des durées très longues. Les contrats peuvent donc avoir été établis avant la mise en place de la stratégie nouvelle sur la donnée de la collectivité. Pour s'approprier les données, la collectivité devra alors envisager le recours à un avenant. Mais un tel avenant nécessite de renégocier certaines clauses du contrat dans un cadre où la collectivité se retrouve en position de faiblesse par rapport à son délégataire. De plus, la réglementation nationale peut dans certain cas contraindre les collectivités. Par exemple dans le cas de la distribution de l'électricité, le monopole réglementaire d'Enedis sur le marché limite les possibilités et marges de négociation des collectivités, dépendantes du prestataire unique.

## 7.4 Bonnes pratiques : Clauses

Pour entamer le virage du numérique et intégrer dans leurs contrats la dynamique Smart City et internet des objets, les collectivités ont développé certaines bonnes pratiques. L'objectif de cette partie est de donner des pistes de réflexion généralisables à l'ensemble des marchés publics des collectivités.

### 7.4.1 L'instauration d'une clause sur les données

La donnée devient une ressource de plus en plus importante pour les collectivités et les entreprises privées (voir partie 8.3). Mais beaucoup de ces données, qui pourraient être collectées par les collectivités, sont générées par des prestataires privés. Pour récupérer les données, les collectivités généralisent de plus en plus les clauses de propriété des données dites "clauses data". Ces clauses indiquent que la propriété de l'ensemble des données générées dans le cadre du marché appartient à la collectivité. Ces clauses sont d'autant plus importantes que le cahier des clauses administratives générales (CCAG), document auquel les marchés se réfèrent en cas de silence des clauses spécifiques du marché, prévoit une propriété par le prestataire de l'ensemble des données générées dans le cadre du marché. Ces clauses ont donc vocation à être généralisées à l'ensemble des marchés publics des collectivités. En effet, si certaines données ne semblent pas utiles ou n'ont pas d'application concrète à ce jour, de nouveaux usages pourraient se développer à long terme et la propriété des données permet ainsi de se les approprier.

Cependant, la récupération d'une telle quantité de données dans des formats et des langages différents pose des difficultés. A ce jour, il n'existe pas de standard pour ces données. L'analyse comparative de données provenant de plusieurs réseaux de capteurs, plusieurs années après leur génération, peut donc s'avérer compliquée. Pour répondre à cette problématique, des projets de standardisation sont en cours, comme le projet bIoTope (voir partie 2.4.2). Ces standards ont pour objectif d'offrir une interopérabilité renforcée sur les couches hautes quelle que soit la source des données.

Tant qu'un tel standard n'existe pas, les collectivités doivent veiller à s'accorder avec leurs prestataires pour obtenir des données d'entrée compatibles avec les systèmes d'analyse acquis ou maîtrisés par la collectivité. Cela peut passer par des clauses dans les contrats imposant un certain formalisme des données ou l'obligation pour la société de proposer une version brute de l'ensemble des données. Les capacités de stockage à la disposition des collectivités sont suffisantes pour stocker dans un Data Lake l'ensemble des données générées par les activités.

### 7.4.2 Le risque de la privatisation de la ville

Un des plus grands écueils rencontrés par les porteurs de projets d'internet des objets sur les dernières années est l'enfermement dans une solution propriétaire d'une entreprise privée. En effet, les entreprises intégratrices, en particulier, proposent des solutions "clé en main" comprenant la pose des capteurs et réseaux associés, de la plateforme de remontée et visualisation des données, la licence d'exploitation des logiciels, les algorithmes de traitement des données et des outils de visualisation des résultats. Ces solutions, souvent plus simples à mettre en place pour les collectivités, mais plus techniques, ont posé deux types de difficultés :

- Des solutions parfois peu adaptées aux spécificités du territoire. Le savoir technique et technologique proposé par ces entreprises est très innovant et performant mais le manque de concertation en aval sur les besoins, les spécificités des méthodes et de l'organisation en interne de la collectivité ; ainsi que le manque d'échanges sur l'utilisation des données a provoqué des résultats finalement peu adaptés dans un certain nombre d'expérimentations.
- Des solutions peu pérennes dans le temps. A la fin du marché ou de l'expérimentation, certaines collectivités ont perdu la capacité de produire de nouvelles données ou d'exploiter les données générées. Le système proposé était une "boîte noire", efficace et qui débouchait sur un résultat attrayant et exploitable pendant la durée du contrat. Mais une fois la fin du contrat atteinte, les éléments transmis ne permettaient pas de continuité avec un nouveau système ni l'exploitation par la collectivité des données générées par le système.

Pour répondre à cette problématique, la ville de Paris, le Grand Lyon ou d'autres collectivités cherchent à développer leurs propres outils s'appuyant sur des technologies Open Source ou sur des prestataires pour le développement de solutions internalisées. Cette solution a cependant un coût d'investissement plus important et ne permet pas toujours de disposer des dernières technologies. De plus ces systèmes nécessitent que la collectivité puisse recruter en interne des professionnels du domaine, notamment des Data Scientists. Ces recrutements sont envisagés par de nombreuses collectivités dont la ville de Paris ou le Grand Lyon. Les collectivités souhaitant développer un projet d'internet des objets doivent donc s'interroger sur le sort de ce projet et son intégration dans le système actuel et futur. Sera-t-il possible d'exploiter de façon pratique et à long terme les données et résultats issus du projet proposé ?

### **7.4.3 La fin de contrat, un temps important de la relation contractuelle à anticiper**

Dans une logique d'appropriation des données, des technologies et des résultats, le renouvellement des contrats est un temps important. Cela peut être une opportunité pour intégrer les problématiques IoT dans un contrat de marché public ou une délégation de services public. Mais il faut anticiper ce système pour l'intégrer à la stratégie IoT de la collectivité (voir chapitre 5). Pour prévoir cette étape, des clauses protectrices pour la collectivité doivent être intégrées dès la signature du contrat. Des enjeux importants doivent être anticipés. Quel sera le sort des données générées par le contrat ? Des équipements mis en place (que ce soit pour les terminaux, réseaux ou plateformes de données) ? Le prestataire en est-il propriétaire (voir partie 2.3.1) ? Doit-il anticiper un démontage de l'ensemble des équipements ? Comment sont gérées les questions de propriété intellectuelle ? Si des logiciels ont été développés, quels sont les droits de la collectivité ? Un modèle économique a-t-il été anticipé (voir chapitre 8) ? En anticipant, la collectivité pourra s'appuyer sur son prestataire pour avoir la capacité d'exploiter à long terme les données issues du projet. Des prestations de formation peuvent être prévues dans le cadre du marché pour permettre une appropriation des systèmes et ainsi un transfert de compétences vers la collectivité.

# Chapitre 8

## Des modèles économiques à trouver

La nécessité de trouver un modèle économique et une rentabilité financière est une priorité critique des collectivités au moment du lancement d'une politique de Smart City et d'Internet des Objets. Elle ne saurait être écartée mais elle peut être de plusieurs ordres : comme l'illustre le rapport du Syntec numérique de novembre 2017 [2], les retombées d'un projet ne sauraient être que financières ; d'autres types de gains doivent être aussi comptabilisés tels la diminution de la pollution, du bruit, de l'accidentologie, le gain de temps, etc.

Nous pouvons alors mettre en évidence quelques objectifs majeurs lors du lancement d'une politique comme celle-ci. Des économies de fonctionnement pourraient être réalisées grâce à la rationalisation des flux ou l'éclairage intelligent ; des opportunités existent également avec, notamment, la dépenalisation du stationnement qui est effective depuis le 1er janvier. Mais des modèles plus originaux apparaissent néanmoins : les données produites ont une nouvelle valeur et doivent être analysées pour élargir l'éventail de services proposés au citoyen, qui, lui, devient dorénavant acteur de son environnement en produisant lui-même les données utilisées. Ces changements sont rapides et brusques et les difficultés apparaissent au fur et à mesure du développement des politiques de villes intelligentes depuis les premières lancées au tournant des années 2010. Nous tâcherons néanmoins de mettre en évidence quelques problématiques principales qui sont apparues avec le déploiement de l'Internet des Objets.

### 8.1 Modèles économiques classiques

Le premier modèle économique cité pour les Smart Cities reste les problématiques d'économies de fonctionnement liées à la mise en place de capteurs sur des installations. En ayant accès aux données récupérées par la télérelève, les administrations peuvent les analyser et connaître leurs consommations d'énergie ou d'eau, par exemple, et savoir s'il y a des fuites ou des utilisations trop importantes. Il est alors possible de réparer les dysfonctionnements et/ou de promouvoir et ordonner des comportements plus responsables. Cet exemple classique de modèle économique pour les technologies smart cities est cité dans le rapport Syntec numérique de novembre 2017 qui, sur un projet concernant des collèges dans le département du Nord, prévoit un bénéfice financier net de 3,7 millions d'euros pour un montant d'investissement initial de 2 millions d'euros (le bénéfice financier net ne comprend que les flux financiers mais pas les bénéfices socio-économiques qui pourraient être liés, comme une moindre émission de CO<sub>2</sub> ou de possibles gains de confort).

Ce modèle est donc maintenant éprouvé et ces techniques sont dorénavant répliquables dans de nombreuses villes. Une des premières à avoir fait le choix des technologies smart cities, Saint-Amand Monrond, dans le Cher, en 2010, connaît d'ores et déjà des bénéfices financiers liés à sa politique de capteurs dans la ville pour réguler les consommations de fluides (eau et électricité). Dans un contexte de dotations réduites pour les collectivités locales, grâce à l'expertise de m2o city, le diagnostic précis permis par l'IoT a ainsi pu faire baisser les pertes d'eau liées aux fuites de 39% à 6% après installation de capteurs d'eau par l'entreprise, mais ont pu être réalisées également des économies de chauffage (économies totales de 50 000 euros par an pour un budget annuel de 1,2 millions d'euros). Le même raisonnement peut s'appliquer aussi à la consommation d'électricité avec la mise en place de "smart grids" ou plus simplement de compteurs intelligents comme ceux déployés par EDF (compteurs Linky). Ainsi, à Issy-les-Moulineaux, IssyGrid a été implantée pour connaître en détail les consommations énergétiques des bâtiments. De même, à l'échelle du Grand Lyon, Enedis prévoit de gérer la consommation énergétique avec la mise en place de ses compteurs. La mise en oeuvre de l'éclairage intelligent peut aussi provoquer des économies conséquentes : le rapport du Syntec numérique prévoit ainsi des bénéfices financiers nets de 2,5 millions d'euros pour un investissement initial de 3 millions d'euros dans la ville de Rillieux la Pape grâce à un dispositif de Vinci Energies. Il y a donc maintenant la réalisation effective d'une politique de Smart budget pour réaliser des économies de fonctionnement et rendre plus efficaces les politiques publiques.

Ces exemples étaient les plus criants car les retours sur investissement existent déjà. Cependant, la plupart des villes déploient maintenant des dispositifs similaires pour rationaliser au maximum les dépenses : les capteurs deviennent même obligatoires dans certains contrats dans le cadre de marchés publics, pour pouvoir les obtenir. Ainsi à Lyon, en 2015, dans le cadre de la délégation de service public liée à la gestion de l'eau, il était spécifié que l'IoT était nécessaire pour répondre aux objectifs de performance et qu'un monitoring du réseau était obligatoire. Ce processus pourrait maintenant se généraliser.

D'autres modèles classiques pourraient aussi se développer, en particulier après la dépenalisation du stationnement qui est, depuis le 1er janvier 2018, dans le giron des collectivités locales. Dans ce cadre, les innovations pourraient être de plusieurs ordres. En premier lieu, les villes pourraient automatiser l'application du nouveau Forfait Post-Stationnement (FPS) en plaçant par exemple des capteurs qui comptabilisent le temps passé sur une place de stationnement et ainsi voir s'il y a eu un dépassement et donc, si besoin, demander le paiement de ce FPS - alors que, selon Sareco, une entreprise de conseil spécialisée en stationnement, seulement 30% des automobilistes paieraient leur forfait de stationnement ; à Paris, ce serait même 10%. De même, comme mis en exergue dans le rapport du Syntec numérique, une politique de capteurs adéquats (via un observatoire du stationnement par exemple comme à Strasbourg) permettrait de mieux connaître les habitudes des automobilistes et donc d'optimiser les tarifications de ce FPS. Les bénéfices afférents seraient ainsi très complémentaires. L'automatisation du FPS permettrait des gains financiers substantiels pour la collectivité locale qui récupérerait cette compétence alors qu'un grand nombre d'automobilistes favorisaient un possible paiement d'amende (qui était versée au Trésor Public) plutôt que le paiement automatique de la place de stationnement. De plus, sur un plan plus socio-économique, pour reprendre la terminologie du rapport du Syntec numérique, cela permettrait de fluidifier la circulation en centre-ville en facilitant la recherche d'une place de stationnement, ce qui engendrerait des gains de

confort évidents (baisse du temps passé à la recherche d'une place, baisse de l'accidentologie) mais aussi une baisse des émissions de CO<sub>2</sub> et d'autres polluants et une diminution du bruit.

Les possibilités de retours financiers directs par la mise en place de l'Internet des Objets sont donc conséquents : économies de fonctionnement par la connaissance des consommations de fluides et d'électricité ou la mise en place de l'éclairage intelligent, rentrées d'argent automatisées après la dépénalisation du stationnement... Cependant, plusieurs écueils sont à éviter. Tout d'abord, la politique de Smart cities peut alors devenir très silotée, ce qui empêcherait la mutualisation des infrastructures. Cela peut engendrer des surcoûts liés à la multiplication des capteurs alors que des procédures plus centralisées pourraient s'imposer. De même, certains interlocuteurs ont fait remonter le fait qu'il pourrait y avoir intérêt à mettre en commun les plateformes de données pour coupler des informations comme celles liées à l'eau et l'électricité par exemple. Il ne faut pas perdre de vue que les solutions doivent être aussi compatibles entre elles pour pouvoir réaliser des corrélations plus aisément. Enfin, les chiffres cités ici correspondent à une situation donnée dans une ville ou un secteur précis et ne sauraient être complètement généralisables. Ainsi, même selon les spécialistes, une grande partie des gains liés à la mise en place de l'éclairage intelligent est due au remplacement des éclairages anciens par des LEDS, qui sont plus efficaces, mais non grâce au système dit "intelligent". En outre, les bénéfices liés au repérage de fuites ou de consommations trop importantes sont directement dépendants de l'état du réseau en amont. Les solutions proposées doivent donc correspondre aux besoins des communes.

## 8.2 Aller vers des modèles plus originaux

### 8.2.1 Economie servicielle

Néanmoins, de nouveaux modèles économiques de développement de l'internet des objets se créent aussi de plus en plus. Au delà de l'installation de capteurs, il y a un changement dans la philosophie de la politique publique afférente : il est nécessaire de passer à une économie servicielle où le support n'est plus le seul bien rémunéré mais est partie intégrante de la capacité à offrir un service spécifique.

Pour définir plus en détail ce principe, nous pouvons prendre quelques cas pratiques du changement de mentalité qui est inhérent à cette évolution. Par exemple, concernant les transports, l'idée n'est plus de fournir uniquement un moyen de transport mais plutôt d'offrir le service de réalisation d'un itinéraire précis le plus rapidement possible : il ne s'agit plus non plus de posséder son moyen de transport mais d'acquérir le service qui en découle par la mise en libre service et la diversification des offres. Avec la multiplication des moyens de transport urbain (vélo en libre service, métro, tram, train, bus...), le prestataire de transport doit maintenant s'adapter pour pouvoir offrir un service optimal. Le citoyen peut dorénavant utiliser son vélo ou le covoiturage puis le métro ou le train et l'intégralité de ses services qui étaient auparavant en silos doivent maintenant être complémentaires. Ainsi, Lyon a développé en 2015 une plateforme Optimod qui regroupe différents moyens de transport comme la marche, le vélo, le train, le métro mais aussi la voiture. Les plateformes doivent donc désormais être les plus larges possibles pour ne pas limiter l'utilisateur et lui fournir la prestation la plus adaptée.

Une autre illustration pourrait être la gestion des déchets par les collectivités, qui pourrait changer par l'apport de l'internet des objets. Ici, au lieu de fournir comme prestation le fait de venir débarrasser des déchets à des dates fixes, il s'agirait de permettre le fait d'avoir une ville propre en ramassant les déchets quand cela est nécessaire. Des capteurs, placés sur les poubelles, permettent alors d'avoir l'information sur leur remplissage et le gestionnaire peut alors optimiser (en terme de propreté et de temps de transport) ses circuits de ramassage pour garantir une ville propre (tout en encourageant également une moins grande production de déchets car le citoyen aura alors accès à ses données). Citant le rapport du Syntec numérique, un système de redevance incitative a été mise en place à Besançon avec une optimisation des trajets de camions de collecte. La valeur actualisée nette financière serait négative ; cependant, si l'on prend en compte également les gains socio-économiques comme la baisse des émissions de gaz polluants liée à la collecte ou à une moindre production des déchets, l'investissement devient alors fortement positif (valeur collective nette créée de 21 millions d'euros pour un investissement initial de 7). A Angers, également, des expérimentations ont été mises en oeuvre (voir partie 5.1.2) et, si le projet n'a pas jugé être assez rentable pour pouvoir être implanté en plein centre-ville, le test en zone plus périphérique a été concluant, les remplissages étant plus limités et les distances plus importantes ce qui permettait une réelle optimisation contrairement au centre-ville où les services étaient saturés.

Ce changement de perspective est donc à noter dans le déploiement de l'internet des objets ; il ne s'agit plus de fournir une prestation mais un service qui serait le plus efficace possible. Ainsi, certains industriels réclament d'ailleurs des marchés de services pour pousser le déploiement de ces nouvelles technologies en demandant une plus grande efficacité et complémentarité entre les prestations.

### **8.2.2 Une offre distribuée, l'utilisateur-consommateur devient usager-producteur**

Un autre renversement majeur est également opéré par l'internet des objets. L'utilisateur ne devient plus uniquement consommateur de services mais participe à sa réalisation en devenant producteur de données. Le smartphone ne saurait être écarté du périmètre des objets connectés et le citoyen les utilisant peut donc devenir acteur de son propre service. Dans un cadre privé, cela pourrait correspondre au service proposé par Waze qui, en utilisant les données des personnes sur la route, sait donner le meilleur itinéraire routier tout en anticipant le trafic. Dans un cadre public, cela pourrait être décliné de plusieurs façons.

Dans le cadre des limites de la CNIL, des expérimentations peuvent être réalisées avec des opérateurs téléphoniques pour avoir des informations sur les comportements des personnes sur son territoire. Ainsi, la communauté d'agglomérations de Paris-Saclay a lancé un test avec un opérateur téléphonique (via l'utilisation du réseau GSM) pour connaître les flux de circulation sur son territoire et ainsi prévoir les offres de transport les plus adaptées. Orange promeut également une solution flux-vision de ces données pour mesurer par exemple des parcours ou des indices de fréquentation. Le citoyen devient donc, dans la limite de la loi, créateur passif de données utiles pour l'administration de sa collectivité.

L'utilisateur peut aussi devenir producteur actif de données. En utilisant notamment des

applications d'utilisation de transport, il permet de connaître les habitudes moyennes de transport pour réaliser des trajets donnés : une plateforme comme Optimod à Lyon renseigne donc sur les moyens de transports utilisés sur l'agglomération. Il peut devenir encore plus actif en mesurant par exemple le bruit grâce à son téléphone comme cela est prévu à Saint Amand Monrond, où les données sont directement transmises aux services de la commune, ou peut-être aussi prochainement la pollution grâce à des capteurs dédiés. Ce modèle est d'ailleurs celui utilisé par de nombreuses start-ups ou entreprises technologiques (Waze, etc) où le service proposé dépend directement des données remontées en temps réel.

Le citoyen n'est donc plus uniquement consommateur d'un service proposé par sa collectivité, il participe aussi à sa mise en place et à son efficience. En fournissant des données, activement ou passivement, ses données doivent donc être utilisées dans le cadre des règles définies par la CNIL pour optimiser le service offert.

### 8.2.3 Une tarification plus adaptée à définir

Un autre volet est potentiellement ouvert par l'arrivée des objets connectés et la multiplication des données produites : une tarification plus fine et en temps réel qui serait fonction des comportements de l'utilisateur et du prestataire. En effet, les objets connectés (smartphones, capteurs...) permettent d'avoir une vision sur les degrés de fréquentation ou d'utilisation d'un service ; il devient donc possible de faire payer la prestation au plus proche du coût social qu'il représenterait à l'instant où il est utilisé. Alors qu'Uber, par exemple, propose une grille de prix qui s'adapte en temps réel à l'offre et à la demande, une délégation de service public ne peut changer ses tarifs car ils sont spécifiés dans le contrat de délégation pour une durée donnée. Ici, l'accroissement du nombre de capteurs permettrait une remontée d'informations en temps réel qui permettrait de faire varier le prix du service, dans un cadre qui pourrait être prévu dès la signature du contrat de délégation de service public.

Ainsi, concernant les fluides et l'électricité, il deviendrait possible de faire changer les prix pour encourager les comportements plus responsables et utiles pour le réseau. Homerider, une filiale de Veolia, propose notamment une tarification de l'eau dépendant des pics de consommation et des heures creuses pour ne pas avoir une demande d'eau trop importante à certains moments de la journée, ce qui rendrait nécessaire l'installation d'un réseau en surcapacité sur d'autres périodes. De même, Enedis, grâce à son réseau de compteurs Linky, veut faire changer les comportements des utilisateurs en faisant varier les demandes énergétiques tout au long de la journée pour lisser les consommations. Pour les transports, il serait aussi envisageable de faire varier les prix des péages ou d'autres moyens de transports en fonction du degré de fréquentation pour avoir un réseau moins saturé sur certains modes.

L'objet connecté devient donc un outil pour optimiser les prix afin d'inciter à des comportements plus responsables. Les gains seraient alors d'ordre socio-économique en fluidifiant les transports ou en diminuant les pollutions mais aussi financier en limitant la surcapacité du réseau pour passer les heures de pointe en lissant les consommations.

## 8.3 Valorisation de la donnée

On le voit : la production de données revêt un caractère fondamental dans les politiques de villes intelligentes. Elles doivent être tout d'abord produites, puis analysées et enfin utilisées pour optimiser le service public que l'on veut améliorer. C'est pourquoi, d'ailleurs, de nombreuses collectivités recrutent désormais des data analysts pour pouvoir être à armes égales avec certaines entreprises technologiques.

Au delà de l'intérêt évident d'un traitement massif des données (principe du *big data*) pour connaître au mieux les habitudes de comportements et ainsi optimiser les décisions publiques, des objectifs importants ressortent. Connaissant au sens large les comportements des citoyens sur leurs réseaux, il est possible, comme nous l'avons déjà vu, d'optimiser sa mise en place et d'éviter les surcoûts mais aussi d'optimiser les flux. La donnée permet aussi d'optimiser les tarifications ou de fluidifier le trafic. La production de données par les services des collectivités via leurs capteurs représente donc une immense valeur pour ses services internes mais aussi pour le secteur privé : certaines entreprises, comme Waze, font des partenariats avec certaines communes (communauté d'agglomérations de Saclay par exemple) pour mettre à profit leurs données sur les trafics auxquelles les services n'ont pas nécessairement accès. Il y a donc une refonte de la valeur créée par l'administration qui ne saurait plus être uniquement le service proposé mais aussi les données produites qui peuvent avoir une grande valeur. Sur un plan national, des opportunités existent ainsi avec des organismes comme l'IGN ou MétéoFrance pour mettre à profit leurs données via des incubateurs dédiés par exemple et les mêmes mécanismes doivent être mis en place à l'échelle des collectivités également. A Lyon ou Angers, par exemple, pour aider les start-ups à se développer sur leurs territoires, les administrations des collectivités mettent leurs données à leurs services au sein d'incubateurs dédiés : les entreprises peuvent alors adapter leurs services en connaissant les besoins réels et s'y conformer au mieux.

Néanmoins, des limites à l'utilisation des données existent et sont émises par la Commission Nationale de l'Informatique et des Libertés qui "établit des règles relatives à la protection des personnes physiques à l'égard du traitement des données à caractère personnel et des règles relatives à la libre circulation de ces données" pour protéger "les libertés et droits fondamentaux des personnes physiques, et en particulier leur droit à la protection des données à caractère personnel" (article premier du règlement européen sur la protection des données). Des précautions doivent donc être prises, en particulier concernant la remontée de données agrégés (comme la remontée des données des compteurs Linky par exemple pour Enedis) : il doit exister un tiers de confiance de la données qui serait responsable de l'anonymisation et du respect des standards de la CNIL qui pourrait donc être le délégataire de service public choisi. Le cadre de la CNIL est donc un élément à prendre nécessairement en compte pour un choix de politique de ville intelligente.

## 8.4 Un retour sur investissement indirect (à plus long terme)

Les retours sur investissement ne sont pas nécessairement purement financiers et doivent être aussi considérés sur le long terme, ce qui complexifie la prise de décision. Le rapport Syntec numérique insiste bien sur le fait de prendre en compte aussi les gains socio-économiques, non obligatoirement financiers, qui sont aussi parties intégrantes d'une politique publique. Reprenant donc les critères du rapport Quinet de 2013 pour comptabiliser ces gains en valeurs monétaires, ils doivent aussi être utilisés pour calculer les valeurs actuelles nettes des projets.

Ainsi, les gains de temps permis grâce à des politiques de stationnement adaptées et des offres de transport plus larges et efficaces sont à prendre en compte pour donner une image fidèle d'une valeur "sociale" d'un projet. De même, les émissions de gaz polluants évitées doivent être évaluées et répertoriées tout comme la baisse de l'accidentologie. Les collectivités doivent élargir le spectre de ses calculs de rentabilité d'investissement pour pouvoir avoir une réelle vision du gain global lié à sa politique. Alors, des projets qui auraient pu être financièrement problématiques peuvent avoir un impact très positif pour le territoire. Le rapport du Syntec numérique met notamment en évidence le cas de la collecte des déchets qui n'est pas obligatoirement rentable sur un plan financier car il y a aussi des surcoûts liés à la mise en place de redevances qui varieraient en fonction de la production de déchets. Néanmoins, si l'on prend en considération les émissions évitées et une baisse des temps de transport, le projet devient alors fortement rentable.

Sur un autre plan, certains projets ont aussi des ROI plus incertains selon les spécialistes car la technologie n'est pas encore pleinement opérationnelle. Le cas des smart grids est assez emblématique. L'installation de compteurs intelligents serait rentable pour le promoteur car il permettrait l'installation d'un réseau ajusté le plus finement possible en fonction des consommations globales du quartier : en connaissant parfaitement les consommations et leurs variations, on peut limiter les surcapacités du réseau et encourager les bâtiments à énergie positive en donnant accès à plus d'informations sur l'utilisation d'énergie ce qui permet, de fait, de l'optimiser. Cependant, le gain pour les collectivités et les particuliers est plus incertain car le réseau se complexifie alors davantage, ce qui engendre aussi des coûts supplémentaires mais aussi des retombées d'informations pour l'utilisateur qui ne seront pas nécessairement pertinentes, ce qui ne provoquera pas de réel bouleversement de comportements.

## 8.5 Tous les services n'ont pas vocation à trouver un équilibre économique

Enfin, il est important de voir qu'un service public ne nécessite pas obligatoirement d'être à l'équilibre économique et que la rentabilité ne saurait être l'objectif principal de toute politique publique : elles peuvent concerner également les thématiques de santé publique en informant la population sur la pollution, certains risques, ce qui permet alors d'aider à effectuer une décision publique en ayant le maximum d'informations disponibles.

Le plus marquant est ainsi le monitoring environnemental avec la volonté de la part du secteur public de multiplier les données sur la pollution de l'air, par exemple, dans un souci d'informations du citoyen. Néanmoins, il n'existe pas encore de modèle économique clair sur ces questions car les retombées financières ne sont pas évidentes. Ici, ce sont plutôt les objectifs de santé qu'il faut prendre en compte : prise de conscience de l'importance de la pollution sur un territoire donné, niveau d'alerte à certaines allergies, etc.

Cependant, des pistes commencent à émerger pour pouvoir avoir des retombées financières : ces services étant nécessairement très demandés par les personnes, il serait par exemple possible de le pérenniser en faisant appel au privé via la création d'une société ad-hoc. L'administration ne pouvant porter éternellement une solution qui n'est pas rentable pour elle mais qui est pourtant très utile aux citoyens, le passage à une société ad-hoc permettrait notamment de trouver d'autres moyens de financement par la publicité par exemple, ou la vente des données recueillies ; l'entreprise serait spécialisée dans ce service et il pourrait donc y avoir création d'un effet-levier grâce au financement privé dans une entreprise qui se consacrerait spécifiquement à ce projet, ce que les services d'une collectivité ne peuvent pas nécessairement faire. C'est ce type de schéma, avec une société-projet, que la métropole de Nice souhaiterait reproduire pour pérenniser ses services de détection des pollens pour les allergies. La vente des données est aussi un sujet important car elles peuvent être une grande ressource pour des acteurs privés, permettant de mieux connaître un territoire et de s'adapter à celui-ci.

Enfin, la production de données environnementales ont une autre portée qu'une qui serait seulement informative ; il peut également s'agir d'aide à la décision pour mieux gérer la ville et de manière plus responsable. Des solutions se font jour dorénavant pour coupler les données concernant la pollution à d'autres pour changer les comportements en temps réel. Ainsi, à Rouen, le démonstrateur Rouen ville respirable, réalisé en partie par Citeos (Vinci Energies), couple les capteurs de qualité de l'air et le poste de centrale de commande et de régulation du trafic. Cela a donné un impact tangible après réorganisation du trafic aux heures de pointe : la qualité de l'air dans les lieux sensibles très fréquentés (abords des écoles) à la même heure le matin s'est, par la suite, améliorée. Les données produites ne sont donc nécessairement rentables sur le court terme mais elles peuvent avoir un réel intérêt sur le plus long terme en aidant à la décision publique avec l'exemple du monitoring environnemental où les données recueillies pourront être utiles pour éclairer un choix de politique.

## 8.6 Conclusions et points d'attention

Le modèle des smart cities apporte de réelles promesses d'un point de vue économique pour les collectivités. Les quelques retours qui existent déjà montrent que des gains financiers sont possibles en adoptant l'Internet des objets. Des économies de fonctionnement peuvent être réalisées en ajoutant des capteurs sur les réseaux de flux ou d'électricité pour limiter les consommations et voir les comportements problématiques (capteurs et éclairage intelligents). D'autres modèles émergent pour proposer à l'utilisateur-citoyen un service qui s'adapte à ses demandes et qui l'incite à faire changer son comportement. De plus, les données ont désormais un rôle majeur et des partenariats, avec des start-ups ou des entreprises plus importantes, ou une internalisation de leur exploitation par les collectivités sont à prévoir pour les valoriser au mieux.

Il est important de préciser aussi que les évaluations ne doivent pas être que purement financières : évaluer l'impact socio-économique d'un projet (pollutions, accidentologie, baisse du temps de trajet...) est primordial et il s'agit pour cela de s'inspirer du rapport Quinet qui apporte des équivalents financiers. Des projets de ce type ne peuvent pas qu'avoir un seul impact financier ; leurs apports sont globaux et se mesurent aussi en terme de bien-être apporté aux citoyens au quotidien. L'équilibre financier pur doit donc pouvoir être dépassé.

Néanmoins, des limites existent encore dans le secteur et qui doivent être des points d'attention pour une collectivité. Il faut parvenir à aller outre le silotage des projets pour apporter plus de transversalité : réussir à mettre en commun les capteurs et les réseaux par exemple. En effet, ces derniers ont des coûts qui peuvent être importants et une vraie réflexion doit être menée pour savoir si l'on favorise la qualité ou la quantité des données remontées. Le prix de l'installation sur site et ensuite de la maintenance ne saurait être écarté non plus de l'équilibre économique du projet et multiplier les projets la complexifie davantage.

Enfin, il faut apporter une attention primordiale à l'existant : les projets doivent correspondre à un réel besoin où la connectivité serait alors un atout majeur. Il convient, par exemple, de différencier l'apport des capteurs en tant que tels du simple changement de technologie (passage aux LED pour l'éclairage intelligent par exemple). C'est en ayant cette réflexion que l'efficacité sera réelle.

# Chapitre 9

## Récapitulatif

Pour récapituler, nous proposons, sur la page suivante, un arbre de décision à destination des collectivités pour le développement de projets d'internet des objets sur leur territoire. Sans être exhaustif ce schéma récapitule une part importante des questions abordées dans ce rapport.

Le point de départ de tout projet d'internet des objets est le positionnement de la collectivité. Certaines collectivités souhaitent être identifiées comme Smart City, que ce soit pour des questions de marketing territorial ou pour développer un modèle économique. D'autres collectivités voient dans l'IoT un outil pouvant aider à la réalisation de missions (voir chapitre 5).

Pour chaque projet, un point essentiel est la prise en compte des remontées du terrain et l'expression d'un besoin prenant en compte les caractéristiques, l'organisation et les méthodes de la collectivité. Sans cette étape, la solution proposée pourrait être peu adaptée, c'est pourquoi nous proposons la mise en place de groupes de travail internes à la collectivité (partie 7.4.2). Quelle que soit la politique retenue, il apparaît important que la collectivité ait mis en place une stratégie, a minima de la donnée, et idéalement pour l'ensemble de la politique de déploiement de l'IoT, avant de lancer un projet.

Une fois l'expression des besoins finalisée et concertée avec l'ensemble des parties prenantes en interne, la collectivité doit s'interroger sur l'existence d'une solution technique sur le marché. Si ce n'est pas le cas, la solution peut être de trouver un partenaire pour lancer une expérimentation (partie 7.1). Sans ce type de partenaire, la collectivité devra réévaluer son besoin ou encourager le développement de sociétés innovantes - start-ups - ayant des idées ou un concept pouvant répondre au besoin mais pas les capacités financières nécessaires.

Dans le cas d'un projet portant sur une technologie mature, deux questions se posent alors. Un modèle économique peut-il permettre d'obtenir un retour sur investissement dans le projet (chapitre 8)? La collectivité doit-elle financer tout ou une partie des investissements? La collectivité devra ainsi évaluer les besoins en financement pour le projet et étudier les coûts et recettes sur l'ensemble de la durée du contrat. Si un financement est nécessaire, le projet devra alors se voir allouer un budget, et donc un portage politique, ou un financement par un dispositif d'aides nationales ou européennes.



Une fois l'expression des besoins validée, le budget et l'accord politique acquis pour le lancement des prestations, la question du vecteur contractuel se pose alors (partie 7.3). Le marché est-il indépendant d'autres prestations ? Si tel est le cas la collectivité peut lancer un marché public pour les prestations IoT. Dans le cas contraire, il faut étudier les marchés dont la qualité de service rendue peut être améliorée par l'IoT mais pour lesquels les prestations IoT sont accessoires. Si ce contrat est en renouvellement, les prestations d'IoT pourront être intégrées. Si tel n'était pas le cas, deux solutions peuvent être envisagées : un avenant pour intégrer les prestations ou, si cela est possible juridiquement, la passation d'un contrat supplémentaire en marge du contrat avec une gestion directe par la collectivité.

# Conclusion

L'écosystème IoT est complexe à plusieurs points de vue. Les acteurs sont multiples. Le marché, encore en cours de stabilisation et fortement innovant, engendre un sentiment d'insécurité pour les collectivités et entre mal dans la temporalité des marchés publics. Le secteur est d'autre part tirailé entre un fort effet de mode, qui peut conduire les collectivités à développer des projets IoT à la va-vite, et une certaine défiance des citoyens qui contrôlent mal l'utilisation de ces données. Bien que la France soit en pointe dans le domaine de l'internet des objets, un certain nombre de collectivités semblent peiner à s'appropriier le sujet. De nombreux projets voient cependant le jour, mais il s'agit encore pour beaucoup d'expérimentations et de preuves de concept, et on trouve actuellement relativement peu de projets à échelle opérationnelle. L'intérêt des collectivités pour l'internet des objets est pourtant bien réel, que ce soit pour des raisons de développement économique, de marketing territorial ou pour répondre à un besoin précis. On voit également des projets ambitieux commencer à se lancer. Ainsi, Dijon a choisi de réaliser un système d'hypervision (pour un budget de 22 millions d'euros) avec une mutualisation et une gestion centralisée des différents services grâce à l'Internet des Objets. Le recul manque encore, et il reste difficile d'évaluer les impacts de tels projets généralisés à l'échelle d'une ville entière.

A l'aide de cette étude, nous avons dégagé quelques bonnes pratiques et points d'attention pour le développement de l'internet des objets pour la ville. Ils sont, d'ailleurs, très similaires à ceux soulevés par Luc Belot dans son rapport parlementaire d'avril 2017 *De la Smart City au Territoire d'Intelligence* [6]. Tout d'abord, l'internet des objets doit être un moyen pour avancer vers des villes plus intelligentes et durables, et non une fin en soi. Une réelle gouvernance doit être organisée par les politiques et l'administration avec tous les acteurs importants (entreprises, recherche, administration, politique) pour apporter une réelle transversalité à la politique d'IoT et que celle-ci soit accompagnée d'un vrai succès. Une construction des projets en bonne intelligence entre les acteurs publics, privés et académiques est nécessaire. Il s'agit ici de trouver le juste équilibre pour éviter le risque de privatisation de la ville, et faire en sorte que l'internet des objets soit créateur de valeur pour tous les acteurs. Une évolution des outils contractuels pourrait permettre d'avancer dans ce sens. Enfin, la politique IoT de la Smart City doit avoir pour coeur du sujet le citoyen. Le citoyen est nécessairement impacté par l'internet des objets en ville, plus ou moins directement selon le cas d'usage. Développer l'implication du citoyen dans la conception des projets, sensibiliser sur l'utilisation des données, sur les bénéfices sont des éléments clés pour la réussite.

Nous pouvons citer comme modèle européen intéressant la ville Santander, une référence sur le sujet et renommée dans un article de la Tribune de novembre 2014, "la ville aux 20.000 capteurs, modèle du smart city européen" [15]. Choisie en 2010 par la Com-

mission européenne pour devenir un territoire d'expérimentation de la ville intelligente, sa politique a été une franche réussite avec des retours sur investissement rapides et une amélioration des conditions de vie des citoyens, notamment en termes d'embouteillages et de qualité de l'air, comme le relate le rapport de l'InterAmerican Development Bank [14]. Comme expliqué dans la Tribune par un professeur de l'Université de Cantabrie, la collectivité a "commencé par recueillir les priorités de la ville et des habitants" avant de poursuivre "avec les détecteurs environnementaux" tout en reconnaissant "qu'il faut la participation des citoyens". C'est un critère de réussite majeur tout comme ceux énoncés dans le rapport Belot [6] : portage politique, inscription dans une stratégie de long terme, si possible trans-mandat, de la ville, gouvernance adaptée, progressivité de la politique, ou encore dans une moindre mesure, nécessité d'un écosystème local d'innovation riche.

Les points rapportés par la ville de Santander sont extrêmement importants et doivent nécessairement être pris en compte avant de se lancer dans toute politique de Smart City. Les solutions techniques existent, même si le contexte est en perpétuelle évolution et qu'il faille encore attendre quelques années pour avoir un retour exhaustif sur les pratiques les plus innovantes d'aujourd'hui (hyperviseurs, Smart Grids), qui deviendront sûrement pour certaines les pratiques généralisées de demain.

# Bibliographie

- [1] Union Internationale des Télécommunications, *Présentation générale de l'Internet des objets*, Juin 2012.
- [2] Syntec numérique, *Smart city : gadget ou création de valeur collective ? L'évaluation socio-économique appliquée à la ville intelligente à travers cinq études de cas*, Novembre 2017.
- [3] Site d'E-Cube Labs, <https://www.ecubelabs.com/fr/>.
- [4] ARCEP, *Les enjeux de la 5G*, Mars 2017
- [5] ARCEP, *Livre blanc : préparer la révolution de l'internet des objets*, Novembre 2016
- [6] Luc Belot, *Rapport parlementaire au Premier Ministre sur l'avenir des Smart Cities : De la Smart City au territoire d'intelligence[s]*, Avril 2017.
- [7] Commissariat Général au Développement Durable, *Villes intelligentes, «smart», agiles : Enjeux et stratégies de collectivités françaises*, Mars 2016
- [8] *Observatoire des usages émergents de la ville*, Observatoire société et consommation (Obsoco) et Chronos (cabinet d'études et de prospective).
- [9] Observatoire Tactis, *Appropriation et déploiement de la Smart City dans les villes, agglomérations, et territoires français*, Edition 2016.
- [10] Advancity, *Vademecum : Innovation et villes durables : repères pour l'action*, Février 2015
- [11] Direction des Affaires Juridique des ministères de l'économie, des finances, de l'action et des comptes publics, *Le partenariat d'innovation*, Mis à Jour le 30 Mars 2016
- [12] Commissariat Général à la stratégie et à la prospective, *L'évaluation socioéconomique des investissements publics*, Emile Quinet, Septembre 2013
- [13] Legifrance, *Décret n° 2016-360 du 25 mars 2016 relatif aux marchés publics*
- [14] InterAmerican Development Bank, *International Case Studies of Smart Cities : Santander, Spain*, Juin 2016
- [15] La Tribune, *Santander : la ville aux 20.000 capteurs, modèle du smart city européen*, Novembre 2014

# Annexe A

## Liste des personnes interviewées pour la réalisation de cette étude

Dans le cadre de notre analyse mais aussi de notre participation au Forum des Interconnectés (Réseau des Territoires Innovants, association nationale de diffusion des usages numériques pour les collectivités françaises) le 7 décembre 2017, nous avons pu réaliser différents entretiens pour pouvoir réaliser l'écriture de ce rapport. Ainsi, nous avons pu échanger avec les personnes suivantes, que nous remercions pour leurs réponses et aides précieuses :

- dans le secteur public :
  - pour les villes et les métropoles :
    - Guillaume Collod, Chargé de Mission Aménagement Numérique à la Ville de Marseille
    - Emmanuel Gastaud et Emilie Gerbaud (respectivement Responsable Internet des Objets et du projet Biotope H2020 et Chef de projet Ville intelligente) à la Métropole de Lyon
    - Constance Nebbula, Conseillère municipale déléguée à l'Innovation et au numérique pour la ville d'Angers
    - Sabine Romon, Responsable de Mission Ville Intelligente et Durable au secrétariat général de la ville de Paris
    - Eric Sieberath, Directeur de cabinet adjoint du Président de la Communauté d'Agglomération de Paris Saclay
    - Benoît Vagneur, Ajoint au Maire de Saint-Sulpice-la-forêt dans l'Ille-et-Villaine
    - Marie Veltz, Doctorante sur la structuration de la ville intelligente et chargée de mission pour la Métropole de Nice-Côte d'Azur
    - Thierry Vinçon, Maire de Saint-Amand-Montrond dans le Cher
    - Plus largement dans le cadre du Forum des Interconnectés, des personnes travaillant pour les collectivités de Blois, Besançon, Aix-en-Provence, Lille, Bordeaux, Strasbourg et la Métropole de Lyon

- dans le monde de la recherche publique :
  - Nicolas Hautière, Directeur de projet à l'IFSTTAR (Institut français des sciences et technologies des transports, de l'aménagement et des réseaux), auprès du Directeur de Département Composants et Systèmes, chargé de la Route 5e Génération
  - Pierre Perrin, Chargé de Mission chez Efficacity (Institut pour la Transition Energétique) et chercheur à l'IFSTTAR (Institut français des sciences et technologies des transports, de l'aménagement et des réseaux)
  
- concernant le régulateur, l'Autorité de Régulation des Communications Electroniques et des Postes (ARCEP) : Sylvain Loizeau, coordinateur de la mission IoT et chef de l'unité réglementation du spectre et des relations avec les équipementiers
  
- aménageur : Jean Benhedi, Chargé de Mission Environnement-Développement Durable à l'Etablissement Public d'Aménagement de la Défense-Seine Arche (Defacto puis EPADESA)
  
- autre organisme : Marion Vergeleyn, Chargée de mission Mobilités 2030 pour le Forum métropolitain du Grand Paris
  
- pour le secteur privé :
  - Bouygues Immobilier : Olivier Sellès, Rehagreen Programme manager
  - CISCO : Emmanuel Schneider et Franck Bachet
  - IBM : Philippe Sajhau, Vice-président d'IBM France
  - m2o City : Jean-Baptiste Vieren et Victor Razanatsimba
  - Orange Business Services : François Duquesnoy, Directeur Smart Cities
  - Sigfox : Laurent Moeslé, Business Development Manager
  - Vinci Energies, Citeos et Omexom : Leonor Gauthier, Responsable scientifique Villes Intelligentes

## Annexe B

### Tableau d'analyse des projets

Collectivité	Projet	Définition du besoin (éventuellement via une expérimentation) Y a-t-il eu une expérimentation avant ?	Initiative du Projet	Place des équipes terrains dans la construction du projet	Place de l'utilisateur (citoyen, service de la ville, autre en fonction du besoin) dans la définition du besoin	Dimension de la Ville	Solution co-construite entre les acteurs privés et l'acteur public	Transversalité	Gouvernance spécifique IoT	Contractualisation	Portage politique	Volonté d'avoir un ROI direct ?	ROI	Le projet est-il considéré comme une réussite
Grand Lyon	Equipement de Conteneurs à verre	en cours	public			Grande			Expérimentation, étendue à un projet pilote					
Nice	Boulevard connecté		privée			Grande								
Angers	Capteurs dans les conteneurs à Verre	en cours	public			Moyenne			Marché < seuil					
Grand Lyon	Capteurs de voirie - température/humidité	en cours				Grande			Expérimentation					
Saint Amand-Montrond	Compteur d'eau - Détection des fuites		public			Petite			Marché					
Saint Amand-Montrond	Compteur intelligent - Economie de chauffage		public			Petite			Marché					

Collectivité	Projet	Définition du besoin (éventuellement via une expérimentation)	Y a-t-il eu une expérimentation avant ?	Initiative du Projet	Place des équipes terrains dans la construction du projet	Place de l'utilisateur (citoyen - service de la ville, autre en fonction du besoin) dans la définition du besoin	Dimension de la Ville	Solution co-construite entre les acteurs privés et l'acteur public	Transversalité	Gouvernance spécifique IoT	Contractualisation	Portage politique	Volonté d'avoir un ROI direct ?	ROI	Le projet est-il considéré comme une réussite
Ville de Marseille	Partenariat opérateur télécom pour la mobilité			public			Grande			Marché					
Ville de Paris	Place de la Nation : flux de piétons / qualité de l'air en fonction trafic			privée			Grande			CODP					
Saint Sulpice la Forêt	Projet d'optimisation de la consommation : instrumentation de 6 bâtiments publics, avec suivi de la consommation et données de qualité de service (confort)			public			Petite			Marché					
Lyon Confluence	Projet Sunmoov à Lyon Confluence : véhicules en autopartage rechargés par des panneaux photovoltaïques		en cours	mixte			Grande								
Rouen	Ville Respirable		en cours	public			Moyenne			Marché					
Saint Amand-Montrond	Safe City - Mise en place d'une vidéo-protection puis amélioration de la qualité par la lutte contre les nuisances : qualité de l'air, nuisances sonores			public			Petite			Marché					

FIGURE B.1 : Tableau d'Analyse Multi-critère des projets (Légende : de marron à jaune, puis vert, la prise en compte de la problématique est de plus en plus importante)

# Annexe C

## Carnet de Bord du GAAP

### C.1 Introduction

Ce GAAP nous a été présenté par le CEREMA (Centre d'études et d'expertise sur les risques, l'environnement, la mobilité et l'aménagement), organisme expert sur les politiques publiques d'aménagement et de développement durable, et portait sur "Les Villes et l'Internet des Objets". Alors que des projets de Smart Cities sont de plus en plus nombreux sur le territoire, concernant des villes de plus ou moins grande taille, l'hétérogénéité des politiques menées est particulièrement marquante : portage par différents échelons ou organismes, création d'un écosystème local, choix de technologies...

La première urgence fut donc de faire un état des lieux de ce qui était réalisé à l'heure actuelle ; en particulier, grâce à notre commanditaire, Florent Boithias, et notre encadrante académique de l'IFSTTAR, Bérangère Lebenthal, nous avons pu prendre connaissance des éléments bibliographiques initiaux et réaliser nos premiers entretiens avec des chercheurs de l'IFSTTAR également, qui sont au coeur de ces politiques de villes intelligentes avec leurs travaux pour Efficacity, un institut de recherche et développement dédié aux politiques sur les territoires urbains. Nous fûmes, tout d'abord, étonnés par l'abondance de bibliographie pour un sujet pourtant très récent sur le territoire où les politiques de smart cities remontent au plus au début des années 2010. Pourtant, donc, de nombreux rapports ont déjà été réalisés aussi bien sur le plan européen (avec le plan d'horizon H2020 par exemple) que national avec, entre autres, un rapport parlementaire, écrit en avril 2017 par le député Luc Belot, qui portait déjà des propositions sur le sujet, ou un vademecum d'Advancity [10] qui présentait les réflexions majeures qui devaient sous-tendre une politique de villes intelligentes pour les collectivités.

Ces rapports prenaient déjà le parti de longuement interroger les entreprises privées qui apparaissent comme des acteurs incontournables dans toute réflexion, en particulier dans le secteur des technologies de l'information et de la communication (TIC) où IBM, CISCO ou Orange proposent déjà des services aux collectivités, en tant qu'intégrateur, à première vue remarquables. Les revues spécialisées pour les collectivités (comme la *Gazette des communes*), également, avaient traité du sujet de nombreuses fois : l'internet des objets représentait un point de réflexion majeur de politique locale et c'est pourquoi, dès les élections municipales de 2014, de nombreux programmes comportaient des propositions de développement par des mesures dites de "villes intelligentes".

Le sujet avait donc été maintes fois rebattu et traité et il devenait difficile de se forger une opinion propre et d'adopter un point de vue original dans cette bibliographie foisonnante. Un point essentiel était donc de multiplier les entretiens pour avoir un réel aperçu de ce qui était mis en oeuvre à l'heure actuelle sans passer par l'intermédiation des rapports déjà écrits. Dans cette perspective, nous avons été aidés par le CEREMA qui nous a permis de participer au Forum des Interconnectés à Lyon le 7 décembre, un événement organisé par *Le réseau des territoires innovants*, une association nationale de diffusion des usages numériques pour les collectivités françaises, ainsi qu'à une réunion de préparation qui se tenait à Paris un mois auparavant et de nombreuses discussions informelles ont pu y être nouées. En parallèle, nous avons cherché à contacter le maximum de personnes ayant traité aux objets connectés, ce qui nous a amené sans le savoir à avoir parfois les mêmes interlocuteurs que les rapports précédemment cités.

Ainsi, comme nous avons pu le décrire précédemment, notre démarche s'est structurée autour de trois points principaux : des entretiens semi-directifs avec des personnes spécialisées dans le secteur de l'Internet des Objets, notre travail pour le Réseau des Interconnectés qui nous a permis de faire des présentations ponctuelles de nos réflexions et enfin, en parallèle, une recherche bibliographique. Nous tâcherons donc, dans cette partie, de présenter plus en détails les difficultés rencontrées tout au long du GAAP ainsi que notre méthode.

## C.2 Difficultés rencontrées

### C.2.1 Abondance bibliographique

L'abondance bibliographique fut le premier problème auquel nous fûmes confrontés lors de la prise connaissance générale du sujet. Un rapport parlementaire [6] de Luc Belot pour le gouvernement venait d'être écrit en avril 2017 et faisait d'ores et déjà des propositions pour le développement de politiques de smart cities sur le territoire. Cela montrait qu'il y avait une forte préoccupation sur ces sujets au sein des collectivités et que des remontées de problèmes diverses existaient pour une mise en place à grande échelle au plan national d'une politique sur le sujet avec une forte compatibilité entre les villes et l'idée de favoriser les expérimentations. Sur un autre plan, Advancity avait aussi écrit un Vademecum [10] pour aider une collectivité dans sa démarche ou le Syntec numérique [2] pour donner des pistes d'évaluation socio-économique des projets de villes intelligentes. Le ministère de l'environnement, également, par le Commissariat général au développement durable, avait pris conscience du sujet en réalisant sa propre analyse [7]. Enfin, le régulateur, l'ARCEP, s'était préoccupé du développement massif des technologies sous-jacentes [5].

De même, les entreprises privées ont, chacune bien entendu, leur propre descriptif de leurs actions sur le sujet et de ce qu'ils proposent aux collectivités. Les descriptifs sont évidemment très flatteurs et il devenait donc très difficile d'avoir un avis impartial sur ce qu'ils proposaient, au-delà de la réalisation de nombreuses expérimentations qui n'étaient pas nécessairement couronnées de succès mais pour lesquelles les critiques postérieures n'existaient pas obligatoirement : ainsi, un boulevard connecté, développé par Cisco, à Nice en 2013 n'a pas été une nette réussite mais les retours négatifs furent très peu nombreux.

Ces différents éléments relatifs à un trop-plein de bibliographie nous mènent donc vers d'autres difficultés que nous avons eues au cours du GAAP : la difficulté d'un choix de problématique pour avoir une démarche nouvelle, un sujet qui est nécessairement très large car les thèmes sont très fortement imbriqués (la stratégie, le modèle économique ou les technologies à mettre en place sont directement liés) et, enfin, un manque d'avis négatif sur les villes intelligentes.

## **C.2.2 Un choix de problématique complexe**

Comme nous l'avons vu, nous avons réalisé que de nombreux rapports avaient déjà été réalisés avant le début du GAAP et adopter un point de vue original sur la question était donc complexe. Le rapport parlementaire faisait déjà des propositions pour permettre une amélioration de la situation chaotique qu'elle a pu constater (multiples expérimentations, pas de complémentarité des projets, pluralité des solutions technologiques proposées qui peuvent être ouverte ou fermée...). Des visions plus transversales ou des résumés de bonne pratique ont également déjà été réalisés.

Nous avons alors remarqué qu'il n'existait pas de vision plus techno-centrée sur le sujet et nous avons donc voulu nous atteler à cela. Néanmoins, les difficultés techniques sont nombreuses et complexes et il nous est apparu alors problématique de faire un travail auquel on n'aurait pas pu nécessairement donner la portée nécessaire et cela ne semblait donc pas pertinent. Nous avons voulu néanmoins garder une certaine vision technique dans nos entretiens en interrogeant fréquemment sur ce point qui nous paraissait important, d'autant plus que nos interlocuteurs appartenaient fréquemment au service informatique de leur collectivité ou alors à une entreprise technologique : les réponses étaient donc toujours très pertinentes.

Au fur et à mesure de nos entretiens, nous avons pris conscience de la rapidité du changement provoqué et de la difficulté de mener des innovations au sein du secteur public où les expérimentations sont importantes tout comme la transversalité (entre services informatique et métier par exemple), ce qui n'est pas réellement facilité par les contraintes des marchés publics et de l'administration. Nous avons donc voulu axer notre travail sur ce point en gardant une partie d'état des lieux des villes intelligentes aujourd'hui et en montrant et en analysant les différentes stratégies qui nous avaient été présentés.

## **C.2.3 Sujet large**

Cela nous mène donc à une autre contrainte du sujet qui nous a été proposé qui ne peut être analysé que de manière très large : multiplicité des acteurs, transversalité, problématique de contrats, de données, pluralité des stratégies mises en place... De plus, nos interlocuteurs ne limitaient pas leur discussion à un seul sujet mais abordaient naturellement ce qui les touchait dans leur quotidien. Il nous est donc apparu impossible de limiter le sujet qu'à une seule thématique au risque de faire des impasses trop importantes.

Des portages politiques peu claires, des technologies encore non éprouvées ou trop peu adaptables, des stratégies des services non adaptées au besoin réel du citoyen, des contrats de marchés publics qui ne conviennent pas encore suffisamment à la démarche entrepreneuriale ou des modèles économiques encore en cours de définition : ces thèmes nous ont paru complètement liés et non différenciables.

Cependant, cela a, bien entendu, causé de nombreuses contraintes pour nous car nous devions être vite spécialisés ou étant donné que nos interlocuteurs ne pouvaient pas aborder tous les sujets au vu de leurs spécifications de postes. Aborder tous les sujets devenait donc complexe et l'expertise difficile à trouver d'autant plus que nos connaissances s'amélioreraient nécessairement au fur et à mesure du projet et que nous pouvions difficilement revenir sur nos entretiens précédents.

#### **C.2.4 Manque d'avis négatifs**

Enfin, il nous est vite paru très clair qu'il était très difficile d'avoir de réels avis négatifs sur les politiques de villes intelligentes tout au long de nos entretiens. Les personnes que nous interrogeons avaient deux caractéristiques principales qui pouvaient nous faire douter de la partialité de leurs avis :

- premièrement, ils pouvaient être dans les services de la collectivité et donc mettre en oeuvre directement les projets. Il était donc impossible d'avoir un réel recul de leur part sur le travail effectué et les résultats obtenus ;
- deuxièmement, ce pouvait être des personnes dans les entreprises privées qui ne pouvaient donc remettre en cause leur politique d'action et le bien-fondé des outils qu'ils mettaient en place.

Ces deux écueils conjugués ont donc compliqué notre travail d'analyse car il fallait alors multiplier les recherches pour pouvoir mener des réflexions plus abouties. Les seuls critiques négatives que nous avons pu entendre reflétaient surtout une peur d'agir en amont et une crainte d'un écosystème trop foisonnant mais non de réflexions a posteriori sur l'intérêt de l'Internet des objets.

#### **C.2.5 Manque de recul sur les projets**

Ce manque d'avis négatifs est aussi fortement dû au caractère récent de ce qui a été entrepris dans le secteur, ce qui fait qu'il n'existe finalement que très peu de retours concrets. Les expérimentations se multiplient mais n'ont pas encore nécessairement abouti à une prise de décision définitive de la part de la collectivité : il fallait donc nécessairement prendre en compte ce fait-là dans nos conclusions alors que les données finales ne nous étaient pas accessibles. Néanmoins, le rapport très intéressant du Syntec numérique montre que des retours d'expérience émergent maintenant et donne un possible aperçu de ce que pourrait être une véritable analyse quantitative ; cependant, il ne porte que sur des projets uniques, ce qui ne permet pas réellement d'aboutir à un résultat tangible et généralisable.

Il convenait donc d'avoir la démarche la plus impartiale possible dans un contexte difficile et une absence de chiffres sur lesquelles nous aurions pu nous appuyer. Ceux-ci auraient pu nous être utiles pour, si nécessaire, pouvoir avoir une critique constructive vis à vis de nos interlocuteurs, ce qui nous était bien souvent impossible par manque de données réelles. Cependant, c'est une caractéristique semblable à beaucoup de rapports de ce type et il était nécessaire de passer outre.

## C.3 Méthodologie

Comme énoncé précédemment dans l'introduction, nous nous sommes vite aperçus de la nécessité de faire des entretiens avec des personnes travaillant, de manière pratique et au jour le jour, dans le secteur de la ville connectée. Nous avons un manque de remontées réelles des expériences réalisées car ces dernières étaient toutes récentes et il était obligatoire de passer outre les publications dans la presse qui semblaient très hagiographiques.

Nous avons alors décidé de vouloir avoir un panel le plus complet possible de personnalités du secteur, en nous intéressant :

- à des personnes travaillant pour des collectivités, de tailles diverses et des niveaux de maturation dans la réflexion différents : nous pouvions avoir beaucoup de contacts par nos encadrants académiques ainsi que par une recherche précise sur Internet ;
- à des chargés de recherche : le secteur étant en boom économique récent, des chercheurs pouvaient nous apporter une vision plus prospective et la présence proche de l'école des Ponts de l'IFSTTAR nous a beaucoup aidés ;
- au régulateur naturellement, l'ARCEP, car nous avons vu qu'il s'était déjà emparé du sujet ; néanmoins, nous avons eu plus de difficulté à rencontrer quelqu'un y travaillant par manque de contact ;
- à des aménageurs qui s'intéressent également au sujet ;
- aux entreprises privées qui ne devaient pas être écartées de notre étude, au vu de leur apport technologique : il fallait des entreprises aussi bien industrielles (ex : Vinci) que technologiques (ex : IBM, Cisco).

Trouver des contacts n'a pas été une tâche particulièrement ardue. Premièrement, nous avons pu en récupérer beaucoup après nos entretiens avec des chercheurs pour l'IFSTTAR. De plus, pour de nombreuses personnes, les adresses mails nous étaient directement accessibles sur Internet, soit qu'elles aient été laissées de manière ouverte, soit par les réseaux propres à chacun d'entre nous (Ville de Paris et Polytechnique). Enfin, nous acquérions les contacts auprès de nos interlocuteurs qui nous renvoyaient vers d'autres personnes, poursuivant ainsi une sorte de chaîne ou par le Forum des Interconnectés comme nous allons le voir ensuite.

Nous avons reproduit à chaque fois la même méthode pour nos entretiens. Nous envoyions un mail nous présentant en tant qu'élèves des Ponts, dans un mastère de politique publique faisant une étude pour le CEREMA, que nos interlocuteurs connaissaient, en général, tous. Pour les entretiens, nous préparions les questions en amont même si nous

n'étions pas réellement directifs lors de celui-ci, laissant l'interlocuteur aborder les sujets qu'il voulait souhaiter et le relançant si besoin sur nos propres interrogations. Cela nous permettait d'aborder les sujets de la manière la plus large possible et convenait donc à notre problématique.

Il est intéressant de noter que nous n'avons eu que des réponses positives à une exception près (métropole de Dijon qui venait pourtant de lancer un projet très novateur mais nos interlocuteurs nous ont tous rapporté qu'il n'y avait que très peu de retours de leurs parts) alors que, parfois, les personnes interrogées pouvaient être très haut placées (vice-président d'IBM France par exemple). Les personnes que nous rencontrions avaient, pour la plupart, été interrogés également pour l'écriture d'autres rapports. Nous pensons que ce nombre important de réponses est dû, en grande partie, à la nouveauté du secteur : chacun souhaite donner la meilleure image possible en répondant au maximum d'interlocuteurs différents, il ne faut pas qu'il y ait d'avis négatifs car la concurrence est extrêmement rude et le moindre accroc aurait donc un fort impact négatif.

Enfin, un autre point important est que notre premier contact ait été le maire de Saint Amand Montrond dans le Cher qui nous a parfaitement introduit le sujet et qui avait déjà des retours sur investissement et une vision très claire des tenants et des aboutissants du secteur. Nous avons alors déjà un exemple qui fonctionne réellement, ce qui était plus facile ensuite vis à vis de nos interlocuteurs qui, eux, étaient souvent en phase d'expérimentation.

## C.4 Forum des Interconnectés à Lyon

Enfin, un point majeur de notre étude a été notre participation au Forum des Interconnectés à Lyon le 7 décembre qui a été permise par les contacts du CEREMA. Nous avons alors pu présenter nos travaux, avoir des retours et réaliser d'autres entretiens en parallèle.

Il convient, tout d'abord, de rappeler ce qu'est le Forum des Interconnectés. C'est un événement organisé par *Le réseau des territoires innovants*, une "association nationale de diffusion des usages numériques pour les collectivités françaises", portée par l'Assemblée des Communautés de France et France Urbaine (fusion de l'Association des Communautés Urbaines de France et l'Association des Maires des Grandes Villes de France). Elle se veut être un "espace de dialogue et d'expertise, une véritable boîte à outils au service de l'innovation numérique des territoires". Le Forum des Interconnectés est donc une des activités organisées par le réseau où les dernières innovations numériques sont présentées aux décideurs des collectivités autour de grandes conférences et d'ateliers de présentation.

Notre présence nous était garantie par le CEREMA, et nous avons de même organisé un groupe de travail le mois précédent. Nous avons pu alors présenter notre démarche à chaque occasion et avons pu y avoir alors des échanges avec la salle, qui étaient tous très positifs et qui souhaitaient avoir notre rapport. Nous avons alors bien vu la difficulté pour les collectivités de se lancer dans un tel projet : multiplicité des acteurs, peur de l'entreprise technologique qui proposerait une solution clé en main non adaptable (comme cela avait pu se passer à Nice), pluralité des actions possibles, pression de la part des élus et des citoyens, rigidité de leur structure face à ce type d'innovations... Les échanges étaient donc très riches et au-delà, cela nous a permis de réaliser d'autres entretiens, plus poussés, pour notre rapport et de voir les dernières expérimentations réalisées pour la ville intelligente de demain.



FIGURE C.1 : Intervention lors du Forum des Interconnectés le 7 décembre - *Auteur : Florent Boithias*