



Modélisation des INformations INteropérables
pour les INfrastructures Durables

GT4.I - Ville intelligente et IoT

Livre blanc

Auteurs / Organismes

Benjamin LECOT (Colas)
David LEROUGE (Colas)
Maud GUIZOL (Colas)
Auriane LE GIGAN (Colas)
Michel AROICHANE (Sixense)
Emmanuel DEVYS (IGN)

Hervé HALBOUT (Halbout Consultants)
Christian DONZEL (Inetum)
Xavier GODART (Inetum)
Piers BARRIOS (Inetum)
Amanda PIERROT (Setec)
Miryam LE MADEC (Egis)

Relecteur / Organisme

Christophe CASTAING

Thème de rattachement : Collecte des données

MINnDs2_GT4.I_ville_intelligenteIoT_livre_blanc_028_2022

LC/21/MINNDS2/067-068-069-071-072-073-074-075-076

Avril 2023

Site internet : www.minnd.fr

Président : François ROBIDA Chefs de Projet : Pierre BENNING / Vincent KELLER

Gestion administrative et financière : IREX (www.irex.asso.fr), 9 rue de Berri 75008 PARIS, contact@irex.asso.fr

SOMMAIRE

1. RÉSUMÉ / ABSTRACT	2
2. DÉFINITIONS	4
3. BESOINS ET CAS D'USAGES	10
4. DONNÉES SMART CITY	15
4.1. Présentation générale	15
4.2. Cadrage : cas d'usage et données nécessaires	19
4.3. Références normatives et autres documents de référence	21
4.4. Enjeux majeurs relatifs aux données Smart City	24
4.5. Caractérisation des données Smart City	30
4.6. État des données géospatiales / SIG et BIM	34
4.7. État des données IOT	41
4.8. Synthèse des données Smart City	44
4.9. Bibliographie et références web	46
4.10. Tableau de synthèse Données Smart Cities Géospatial / SIG	48
4.11. Tableau de synthèse Données Smart Cities Géospatial / BIM	52
5. IOT	54
5.1 Introduction	54
5.2 La nécessité de nouvelles approches	59
5.3 Nouveaux concepts, Nouvelles approches	72
5.4 Cadre juridique Européen	99
5.5 Panorama des normes	101
5.6 Enjeux	112
5.7 Glossaire	116
5.8 Sources	121
6. TABLE DES MATIÈRES	127

Mots clés principaux (Fra)

MINnD ; Recherche ; Construction ; Infrastructures ; BIM ; Maquette numérique ;

Mots clés spécifiques au livrable (Fra)

Ville intelligente ; IoT ; Internet des Objets ; Territoire ; Données ; SIG ;

Main key words (Eng)

MINnD; Research; Construction; Infrastructure; BIM; Digital model;

Deliverable key words (Eng)

Smart City; IoT; Internet of Things; Territory; Data; GIS;

I. RÉSUMÉ / ABSTRACT

Résumé

Ce document « Livre blanc » est la première partie des livrables issus du GT 4.1 dans le cadre du projet de recherche national MINnD traitant des notions de Ville intelligente et d'IoT - Internet of Things (Internet des Objets).

Dans un contexte de transformation numérique des territoires et d'une augmentation exponentielle du volume de données, le stockage, l'analyse et l'exploitation des informations constituent aujourd'hui un enjeu majeur pour les acteurs publics et les entreprises.

Dans un premier temps (Chapitre 2), cette publication présente l'ensemble des définitions liées au concept de Ville Intelligente (Smart City en anglais) et d'IoT.

Ce document précise par la suite (Chapitre 3) les parties prenantes de la Smart City. Des acteurs publics nationaux et européens, en passant par les opérateurs de services jusqu'à l'utilisateur, tous sont acteurs de la donnée et de son utilisation. Il resserre également l'ensemble des usages à travers 5 thématiques tout en les illustrant à partir d'exemples concrets mis en place à travers le monde.

La chapitre suivant (Chapitre 4) s'intéresse aux données nécessaires pour la réalisation d'une Smart City. Ces dernières peuvent être d'origine et de nature éparses (géospatiales SIG, provenant des maquettes numériques BIM ou encore issues des données de capteurs IoT). Ce chapitre réalise également l'état de l'art des références normatives encadrant leurs utilisations.

Enfin, dans une dernière partie (Chapitre 5), cette publication aborde le concept de l'IoT, la pluralité des approches réalisées et le besoin d'un cadre normatif et d'une structuration commune.

Le second livrable « Rédiger une Charte Smart City¹ » prend la forme d'un questionnaire où nous prenons le point de vue d'une collectivité qui souhaiterait s'engager dans une démarche Smart City en tant que prescripteur.

Abstract

This document is the first part of the deliverables resulting from GT 4.1 of the MINnD national research project dealing with the concepts of Smart City and IoT - Internet of Things.

In a context of digital transformation of territories and an exponential increase in the volume of data, the storage, analysis, and exploitation of information are now a major challenge for public actors and companies.

This publication begins (Chapter 2) by presenting all the definitions related to the Smart City and IoT concept.

This document then specifies (Chapter 3) the stakeholders of the Smart City. From national and European public actors, through service operators to the user, all are actors of the data and its use. It also describes all the uses of data through five themes and illustrates them with concrete examples from around the world.

The next chapter (Chapter 4) focuses on the data needed to build a Smart City. This data can be of different origins and nature (geospatial GIS, from digital BIM models or from IoT sensor data). This chapter also presents the state of the art of the normative references governing their use.

Finally, in the last part (Chapter 5), this publication addresses the concept of IoT, the plurality of approaches and the need for a normative framework and a common structure.

¹ MINnDs2_GT4.1_ville_intelligente_loT_rediger_charte_smartcity_033_2023

The second deliverable, "Writing a Smart City Charter", takes the form of a questioning exercise in which we take the point of view of a local authority wishing to engage in a Smart City approach as a prescriber.

2. DÉFINITIONS

Actionneur (Actuator)	Un actionneur est un dispositif matériel qui transforme une information digitale en un phénomène physique ou qui transforme une manifestation physique en une information digitale, ou qui opère séquentiellement ou parallèlement ces deux transformations sur des objets réels différents.
Agent (Agent)	"Un agent est un calculateur qui est placé dans un environnement et qui est capable, dans cet environnement, de décider, de manière autonome, de procéder à une action qui satisfait les exigences qui ont permis de le concevoir." (Wooldridge and Jennings). Un exemple courant d'agents sont les dispositifs qui traduisent les messages et les données spécifiques à un dispositif matériel en messages et données utilisables dans le cadre d'un protocole normalisé et qui assurent l'intégrité des échanges.
API (API)	Une interface de programmation d'application (souvent désignée par le terme API pour <i>Application Programming Interface</i>) est un ensemble normalisé de classes, de méthodes, de fonctions et de constantes qui sert de façade par laquelle un logiciel offre des services à d'autres logiciels. (Source : Wikipedia)
Big Data (Données massives)	On parle depuis quelques années du phénomène de Big Data, que l'on traduit souvent par « données massives ». Avec le développement des nouvelles technologies, d'internet et des réseaux sociaux ces vingt dernières années, la production de données numériques a été de plus en plus nombreuse : textes, photos, vidéos, etc. Le gigantesque volume de données numériques produites combiné aux capacités sans cesse accrues de stockage et à des outils d'analyse en temps réel de plus en plus sophistiqués offre aujourd'hui des possibilités inégalées d'exploitation des informations. Les ensembles de données traités correspondant à la définition du Big Data répondent à trois caractéristiques principales : volume, vitesse et variété. (Source : CNIL)
BIM (Building Information Modeling)	« BIM ou modélisation des informations de la construction : utilisation d'une représentation numérique partagée d'un actif bâti pour faciliter les processus de conception, de construction et d'exploitation de manière à constituer une base fiable permettant les prises de décision. Actif bâti = bâtiments, ponts, routes, tunnels, voies de chemin de fer, usines... » (Source : Extrait de la norme NF CEN ISO 19650 – Concepts et principes / Termes et définitions)
Capteur (Sensor)	Un capteur est un dispositif qui transforme l'état d'une grandeur physique observée en une grandeur utilisable, telle qu'une tension électrique, une hauteur de mercure, une intensité ou la déviation d'une pièce. Le type des grandeurs physiques rendues par un capteur permet de distinguer les capteurs qui traitent des grandeurs mesurables qui varient de façon continue, et les capteurs d'état qui détectent des informations tout-ou-rien (appelés aussi « capteurs TOR »). Un « capteur passif » est un capteur qui nécessite un apport externe d'énergie pour fonctionner. Un « capteur actif » est lorsqu'il utilise un phénomène physique pour produire la grandeur physique que l'on attend de lui. Une loi physique connue permet de relier la grandeur physique observée et la grandeur qui est produite en sortie. Le nombre des lois physiques qui permettent de telles transformations est limité, mais le nombre de leurs applications est très élevé. Les grandeurs produites par un capteur peuvent être analogiques Ils produisent en sortie une infinité de valeurs qui sont éventuellement numérisées par échantillonnage. D'autres capteurs produisent des suites d'états logiques que l'on peut interpréter automatiquement comme des nombres. Les principaux effets physiques utilisés par les capteurs sont les suivants : <ul style="list-style-type: none">• Variation de capacité.• Variation d'inductance.• Variation de résistance.

	<ul style="list-style-type: none"> • Effet Hall. • Induction. • Effet Faraday. • Effet photoélectrique. • Dilatation, déformation. • Magnétorésistance. • Piézo-électricité. • Effet Doppler. • Principe de la corde vibrante. • Effet thermoélectrique (effet Seebeck). <p>Un capteur est similaire à un « capteur de mesure » en ce qu'il permet la saisie et la mesure d'information sous forme de grandeurs physiques, et la représentation codée de ces grandeurs. Il en diffère en ce qu'il n'est généralement qu'une interface entre un processus physique et une information exploitable.</p> <p>Un grand nombre de capteurs couramment utilisés, principalement à cause de la facilité de leur production en série, associent deux puces de silicium dont l'une produit un effet piézo-électrique, et dont l'autre est un actionneur qui déclenche une action en analysant le courant que la première produit. Par abus de langage et parce qu'ils sont souvent confondus dans un même emballage on confond, la plupart du temps, le capteur et l'actionneur qui permet d'en exploiter les résultats.</p>
CIM (City Information Modelling)	<p>Le CIM est une harmonisation du BIM et du SIG à l'échelle du territoire. Il favorise une gestion de travail collaborative avec les différents acteurs et facilite les échanges, la compréhension et l'acceptabilité des projets.</p>
Collectivités locales/territoriales (Territorial community)	<p>Une collectivité territoriale est une personne morale de droit public qui exerce sur son territoire certaines compétences qui lui sont dévolues par l'État. On parle également de collectivité locale. <i>(Source : Wikipedia)</i></p>
Données (Data)	<p>Faits ou notions représentées sous une forme conventionnelle convenant à une communication, une interprétation ou un traitement ; éléments de connaissance susceptibles de faire l'objet d'un traitement automatique et d'être ensuite communiqués ou conservés. <i>(Source : Office Québécois de la Langue Française fiche 501755)</i></p>
Donnée brute (Raw data)	<p>Une donnée est un élément initial, non interprété, produit par une personne ou un outil et dont la production est identifiable/traçable. Elle est le support permettant de produire ensuite de l'information.</p>
Données ouvertes (Open Data)	<p>Ce sont des données, dont la production est clairement identifiée/tracée, qui ont déjà été financée dans le cadre de leur production et qui sont mises à disposition gratuitement (ou à coût marginal) du plus grand nombre d'utilisateurs possible.</p>
Données personnelles ou à caractère personnel – RGPD (General Data Protection Regulation – GDPR)	<p>Toute information se rapportant à une personne physique identifiée ou identifiable (ci-après dénommée «personne concernée») ; est réputée être une «personne physique identifiable» une personne physique qui peut être identifiée, directement ou indirectement, notamment par référence à un identifiant, tel qu'un nom, un numéro d'identification, des données de localisation, un identifiant en ligne, ou à un ou plusieurs éléments spécifiques propres à son identité physique, physiologique, génétique, psychique, économique, culturelle ou sociale <i>(Source : Règlement (UE) 2016/679)</i></p>
ECD – Environnement Commun de Données (CDE – Common Data Environment)	<p>L'ISO 19650 spécifie que l'environnement de données commun (en anglais, Common Data Environment ou CDE) est une source unique d'informations qui permet de collecter, de gérer et de diffuser la documentation, le modèle graphique et les données non graphiques pour l'ensemble de l'équipe projet. L'Environnement Commun de Donnée constitue le pilier de la collaboration d'acteurs sur un projet, en gérant l'évolution des données au cours d'un projet.</p>

Enjeu (Challenge)	Ce que l'on risque dans un jeu, en particulier une somme d'argent, et qui revient au gagnant. Ce que l'on peut gagner ou perdre dans une entreprise quelconque : L'enjeu du match est le titre de champion du monde. (<i>Source : Larousse</i>)
Éthique (Ethics)	Qui se rapporte à la morale L'éthique des données (« Big Data ethics » en anglais) désigne un ensemble de gestes et de comportements à adopter ayant pour finalité la protection des données, en particulier les données personnelles. L'éthique des données est dictée selon 7 principes : • La finalité • Les proportionnalités • La pertinence • La durée limitée de la conservation des données • La sécurité et la confidentialité • La transparence • Le respect du droit des personnes. (<i>Source : Wikipedia</i>)
Exploration de données (Data Mining)	Technique de recherche et d'analyse de données qui permet de dénicher des tendances ou des corrélations cachées parmi des masses de données, ou encore de détecter des informations stratégiques ou de découvrir de nouvelles connaissances en s'appuyant sur des méthodes de traitement statistique. (<i>Source : Office Québécois de la Langue Française, Le Grand Dictionnaire Terminologique, Dictionnaire des Francophones de la DGLFLF</i>)
Géoréférencement (Georeferencing)	Le géoréférencement est l'action « de rattacher » un relevé topographique dans un système de coordonnées connu. Le géoréférencement a pour objectif d'attribuer des coordonnées à tout objet d'un projet dans un repère lié à la Terre.
GIEC	Groupe d'experts intergouvernemental sur l'évolution du climat.
IA	Intelligence Artificielle (AI en anglais).
Infonuagique (Cloud computing)	Le <i>Cloud Computing</i> est un terme général employé pour désigner la livraison de ressources et de services à la demande par internet. Il désigne le stockage et l'accès aux données par l'intermédiaire d'internet plutôt que via le disque dur d'un ordinateur. Il s'oppose ainsi à la notion de stockage local, consistant à entreposer des données ou à lancer des programmes depuis le disque dur. La notion de Cloud ne doit pas non plus être confondue avec celle du <i>Network Attached Storage</i> (NAS), utilisée par beaucoup d'entreprises via un serveur en résidence. Ces réseaux locaux n'entrent pas dans la définition du Cloud. Cependant, certains NAS permettent d'accéder aux données à distance depuis Internet.
IdO – Internet des objets (IoT – Internet of Things)	IdO/IoT est la connexion des machines, capteurs et appareils à Internet, pour permettre la collecte d'informations en temps réel sur l'état et les paramètres de fonctionnement de vos produits, des lignes de fabrication, et des processus. Ces applications partagent et recueillent l'information automatiquement (et beaucoup plus rapidement que si l'intervention humaine était nécessaire). Cette interconnectivité en ligne offre aux fabricants de nouveaux niveaux d'efficacité, avec un accès instantané aux données nécessaires pour une prise de décision plus intelligente. (<i>Source : ISO 19731:2017</i>)
Interopérabilité (Interoperability)	L'interopérabilité est la capacité que possède un système informatique ou une solution logicielle à fonctionner avec d'autres produits, systèmes informatiques ou solution logicielle, existants ou futurs, sans restriction d'accès ou de mise en œuvre. (<i>Source : ISO/CEI 2382-18:1999</i>)
Interopérabilité des données (Data interoperability)	Interopérabilité concernant la création, l'interprétation, le traitement, l'utilisation, le transfert et l'échange de données (<i>Source : ISO/IEC 20944-1:2013</i>)
Interopérabilité sémantique des données (Semantic data interoperability)	Interopérabilité telle que la signification du modèle de données dans le contexte d'un domaine est comprise par les systèmes participants (<i>Source : ISO/IEC 20944-1:2013</i>)
IoT	Internet des Objets (Internet of Things en anglais)
IPBES	Intergovernmental Science-Policy Platform on Biodiversity and Ecosystem Services.

Lac de données (Data Lake)	Un DataLake ou lac de données est un système de stockage ou un service de stockage de données à faible coût qui permet à une entreprise de conserver des données brutes, dans n'importe quel format, qu'elle entend analyser ou réutiliser plus tard. Les lacs de données sont généralement implémentés à l'aide des technologies du Big Data.
Microprogramme / Micrologiciel (Firmware)	Un ensemble de programmes, procédés et règles, et éventuellement de la documentation, relatifs au fonctionnement d'un ensemble de traitement de données qui engendre un état d'un ordinateur qui persiste au-delà du redémarrage de la machine physique qui l'exécute. Contrairement à "Software", "Firmware" n'a pas de traduction reconnue en français.
Maîtrise d'usage (User control)	La Maîtrise d'usage concerne les utilisateurs finaux d'un projet. Cela peut être le grand public (citoyens, par exemple) ou, dans une organisation, des utilisateurs métiers de données, d'informations, etc., dont les besoins sont identifiés en tant qu'usages. Cela renvoie aussi à la définition de la démocratie participative, qui désigne « tout processus d'interactions et d'échanges entre le ou les décideurs et le public visant l'intégration effective de ce dernier dans une décision. Le terme de démocratie participative renvoie également à de nombreuses pratiques - spontanées et non institutionnelles - d'expérimentations démocratiques organisées par des citoyens collectifs, associations, etc. » (source : https://www.debatpublic.fr/la-democratie-participative-669)
Métadonnée (Metadata)	Information relative à une ressource.
MCD (CDM)	Un Modèle Conceptuel de Données – MCD (appelé aussi schéma conceptuel de données), est une représentation structurée des données d'un système d'information et des relations entre ces données.
Obsolescence (Obsolescence)	"Le changement d'état d'un produit chez un fabricant ou un fournisseur depuis l'état - disponible - vers l'état - indisponible -" Norme EN IEC 62402. Le terme "produit" comprenant ce qui suit : les biens d'équipement; l'infrastructure; les biens de consommation durables; les consommables; les produits logiciels. La gestion de l'obsolescence concerne les points suivants: conception de nouveaux produits; insertion d'une nouvelle technologie dans un produit existant; maintenance de produits existants. (Source : AFNOR NF EN IEC 62402 Juillet 2019)
Obsolescence programmée (Programmed obsolescence)	« L'ensemble des techniques par lesquelles un metteur sur le marché vise à réduire délibérément la durée de vie d'un produit pour en augmenter le taux de remplacement. » (Source : Article L.213-4-1 du Code de la consommation)
ODD – Objectif développement durable (SDGs : Sustainable Development Goals)	"Le nom d'Objectifs de développement durable (ODD) est couramment utilisé pour désigner les dix-sept objectifs établis par les États membres des Nations unies et qui sont rassemblés dans l'Agenda 2030. Cet agenda a été adopté par l'ONU en septembre 2015 après deux ans de négociations incluant les gouvernements comme la société civile. Il définit des cibles à atteindre à l'horizon 2030, définies ODD par ODD. Les cibles sont au nombre de 169 et sont communes à tous les pays engagés." (Source : Wikipedia)
Ontologie informatique (Computer ontology)	Une ontologie informatique est un consensus que l'on établit à propos d'une description conceptuelle partagée, formalisée et partielle d'un ensemble des sujets. Une ontologie définit le vocabulaire (la manière de nommer), la définition des concepts et les relations qu'ils entretiennent dans le cadre d'un univers du discours qui a été préalablement défini. Une ontologie peut inclure des règles (d'identification, d'existence, de partage des instances, etc.) qui restreignent son usage à un domaine particulier d'applications et qui doivent être prises en compte par toutes les applications qui doivent exploiter les données compatibles avec cette ontologie.
Plateforme collaborative	Une plateforme collaborative permet d'organiser les accès aux données d'un projet selon les profils des utilisateurs. Elle a aussi pour rôle de présenter les

	<p>données dans un format compréhensible spécifique à chaque famille d'utilisateurs pour tenir compte des différentes pratiques métiers. Elle est garante du maintien de la cohérence des données numériques manipulées pendant un projet. Elle donne accès de façon contrôlée aux acteurs du projet, à l'ensemble des données strictement nécessaires à la réalisation des activités confiées dans le projet. Elle facilite la collaboration entre les acteurs. L'accès aux données se fait via un Environnement Commun de Donnée (ECD/CDO). (Source : MINnD S2 – GT6-2)</p>
<p>Sécurité des données (Data security)</p>	<p>La sécurité des données numériques comporte trois grands domaines : la disponibilité, l'intégrité et la confidentialité. La disponibilité doit assurer que les données sont accessibles quand les utilisateurs en ont besoin. L'intégrité permet d'assurer à un utilisateur que son travail ne corrompt pas celui d'autrui et réciproquement que les activités d'autres utilisateurs ne peuvent, par mégarde, nuire aux données sur lesquelles il intervient ou sur lesquelles il est intervenu. La confidentialité des données définit qui peut créer, lire, modifier et supprimer une donnée.</p>
<p>SIG (GIS)</p>	<p>Un système d'information géographique ou SIG (en anglais, Geographic Information System ou GIS) est un système d'information conçu pour recueillir, stocker, traiter, analyser, gérer et présenter tous les types de données spatiales et géographiques. L'acronyme SIG est parfois utilisé pour définir les « sciences de l'information géographique » ou « études sur l'information géospatiale ». Cela se réfère aux carrières ou aux métiers qui impliquent l'usage de systèmes d'information géographique et, dans une plus large mesure, qui concernent les disciplines de la géo-informatique (ou géomatique). Ce que l'on peut observer au-delà du simple concept de SIG a trait aux données de l'infrastructure spatiale.</p>
<p>Smart (Smart)</p>	<p>Préfixe désignant l'utilisation efficiente et intégrée des technologies de l'information et de la communication (TIC) pour rendre des services dans un domaine particulier.</p>
<p>Smart building (Bâtiment connecté)</p>	<p>« Le concept de smart building (selon la DRIEE) correspond à l'intégration de solutions actives et passives de gestion énergétique, visant à optimiser la consommation, mais également à favoriser le confort et la sécurité des utilisateurs du bâtiment tout en respectant les réglementations en vigueur. »</p> <p>Parler de Smart Building, c'est aussi mettre en avant le fait que les bâtiments sont liés, connectés, à la fois avec les autres bâtiments, mais aussi avec leur environnement et avec les besoins des utilisateurs en énergie, en mobilité, en lumière. L'important, c'est que cela se fasse en temps réel.</p>
<p>Smart building (Bâtiment intelligent)</p>	<p>Le Smart Building est un bâtiment connecté répondant à différentes exigences : durabilité (énergie & environnement), flexibilité de l'espace, efficacité économique, confort des clients, efficacité du travail, sécurité, culture, adaptation à la technologie.</p>
<p>Smart city (Ville intelligente)</p>	<p>C'est une ville qui accélère le rythme auquel elle fournit des résultats de durabilité sociale, économique et environnementale et répond à des défis tels que le changement climatique, la croissance démographique rapide et l'instabilité économique politique en améliorant fondamentalement la façon dont elle engage la société, applique des méthodes de leadership collaboratif, travaille dans toutes les disciplines et les systèmes urbains et utilise les informations de données et les technologies modernes pour offrir de meilleurs services et une meilleure qualité de vie aux habitants de la ville (résidents, entreprises, visiteurs), maintenant et dans un avenir prévisible, sans désavantage injuste des autres ni dégradation de l'environnement naturel.</p> <p>La ville numérique est celle qui utilise le potentiel des technologies de l'information et de la communication pour améliorer le fonctionnement (économique, sociale, politique) de tous les éléments du territoire.</p>
<p>Smart city governance body (Organisme de gouvernance)</p>	<p>Organe de gouvernance des services de la ville intelligente, qui joue le rôle de superviseur des recommandations ou des réglementations en matière de protection de la vie privée concernant un service de la ville intelligente (Source : ISO/IEC TS 27570:2021 Privacy protection — Privacy guidelines for smart cities)</p>

Smart data (Donnée intelligente)	C'est un concept différent du Big Data, reposant principalement sur l'analyse de données en temps réel. Celle-ci consiste à analyser directement les données à la source, sans avoir besoin de les transmettre vers un système centralisé.
Smart governance (Gouvernance intelligente)	Elle inclut une dimension d'ouverture vers de nouveaux "lieux" et acteurs de la réflexion, de la prise de décision et de l'évaluation, ainsi que la mise en œuvre de nouveaux modes de pilotage ou de régulation, qui sont plus participatifs, égalitaires, éthiques et souples. (Source : https://www.futurocite.be/seminaire-smart-governance/compte-rendu/les-enjeux/)
Smart grid (Réseau intelligent)	Smart grid ou réseau de distribution d'électricité intelligent « Réseau de distribution d'électricité dont la technologie permet d'en optimiser le rendement, tout en mettant en relation l'offre et la demande entre un producteur et les consommateurs d'électricité. Un réseau électrique intelligent est plus sécuritaire, car il permet, par exemple, de dépister rapidement une panne sur le réseau. Un tel réseau permet en outre aux usagers de réduire leur consommation aux heures de pointe. » (Source : <i>Fichier terminologique OQLF</i>)
Smart mobility (Mobilité intelligente)	C'est l'application des TIC aux transports. Cela concerne : l'accessibilité, le transport partagé, la gestion multimodale, le stationnement, la billetterie, l'aide au déplacement, la gestion de crise et la sécurité des passagers.
Sobriété numérique (Digital sobriety)	Concept qui vise à ne collecter et stocker que les données nécessaires et suffisantes pendant une durée encadrée. Cette approche s'oppose au stockage compulsif de données sous prétexte que l'utilité en sera trouvée ultérieurement. À noter que pour les renseignements personnels, la sobriété numérique est une contrainte légale. (Source : charte_donnees_numeriques_1_0.pdf (montreal.ca))
Souveraineté des données (Data sovereignty)	La souveraineté numérique est à mettre en lien avec la finalité du traitement des données et les besoins de la maîtrise d'usage.
Souveraineté des données (Data sovereignty)	La souveraineté numérique est un principe juridique selon lequel les données numériques sont soumises aux lois de la juridiction dans laquelle elles sont stockées et à elles seules. Ce principe permet théoriquement d'appliquer à ces données les garanties, au bénéfice de leur propriétaire, qui sont prévues par ces lois (exemples : droit à l'effacement, droit à la transportabilité, etc.).
Ville durable (Green city)	Une ville durable est une ville qui initie une ou plusieurs dynamiques de développement durable. Elle est d'abord un cadre où prennent sens des projets collectifs. Cette démarche pose des questions politiques et éthiques, relatives au développement humain planétaire et à l'héritage qui sera légué aux générations futures.
Ville numérique / Intelligente (Digital city)	Information (Information) : Une information est le résultat interprété d'une ou plusieurs données brute(s). Une même donnée peut aboutir à plusieurs informations différentes. Étant à la fois message (facteur d'organisation) et messenger (véhicule), l'information pourrait être définie comme « ce qui lie notre expérience du monde avec le monde lui-même » (Source : <i>Wikipedia</i>)
Ville numérique / Intelligente (Digital city)	La ville numérique est celle qui utilise le potentiel des technologies de l'information et de la communication pour améliorer le fonctionnement (économique, sociale, politique) de tous les éléments du territoire. Ces termes renvoient à la Smart City. Le Parlement européen la définit ainsi : « une ville qui cherche à résoudre les problèmes publics grâce à des solutions basées sur les TIC (1) sur la base de partenariats d'initiative municipale et mobilisant de multiples parties prenantes ». Dans son rapport, une ville est dite « smart » si elle présente au moins une initiative comprenant une des six caractéristiques de la ville intelligente : la gouvernance, les gens, le mode de vie, la mobilité, l'économie ou l'environnement « smart ».

3. BESOINS ET CAS D'USAGES

Pilier	Sous-pilier	Définition de l'usage	Exemple d' Usage / Exemple de Service	Liens / Sources	Exemple de mise en œuvre au sein de villes	France / International
Gouvernance / administration intelligente	Service public	Améliorer le service public (sécurité, efficacité, réactivité)	Réponse suite à un accident ou à un incident	Application mobile OnDijon / Actualités - Ville de Dijon	Dijon Métropole : développement d'un hyperviseur et d'une application pour les citoyens CCHPVA, Région Ile de France : élaboration d'une plateforme des données	Dijon, France et Région Ile de France
			Déclaration d'anomalies par les citoyens	Source : learning cities (pdf) page 59	Singapour : One Service App pour signaler les problèmes du quotidien à la municipalité (ou la police) par exemple un lampadaire défectueux, des poubelles qui débordent. Pendant la pandémie : signaler les personnes qui ne respectent pas la distanciation sociale.	Singapour (Smart Nation)
		Informers en cas d'urgence les citoyens	Diffusion d'informations aux citoyens en cas de situation d'urgence	Source : learning cities (pdf)	Rio : création de pages Facebook et Twitter pour le Centro de Operação de Rio (COR). Informant la population en temps réel avec ce qui est nécessaire. Par exemple, large communication pendant le Covid et les inondations. Utilisé même sur les chaînes de télévision ou dans les stades.	Rio, Brésil
	Transparence de la gouvernance et participation citoyenne	Dialoguer avec les citoyens autour du futur de la ville	Participation à l'élaboration des projets et à la prise de décision	Source : learning cities (pdf) ajouter page	Stockholm : création d'un jumeau numérique pour expliquer aux citoyens les futurs projets de transformation de la ville. Amélioration de la transparence de la municipalité	Stockholm, Suède
			Utilisation de la VR et de l'IA lors de consultations citoyennes pour optimiser la solution à choisir	まちづくり Use Case PLATEAU [プラットフォーム] (mlit.go.jp)	Plateau a permis à la ville d'Osaka d'améliorer le design d'une des aires du Shinkansen. Tout d'abord par simulation des flux de personnes autour de la gare et dans la gare puis de vérifier que le design correspondait aux attentes des usagers en employant la VR lors d'une enquête en gare.	Japon
		Remonter des informations sur la ville	Signalement des dépôts sauvages	https://vimeo.com/133636468 http://www.rue89strasbourg.com/index.php/2015/04/23/societe/citoyennete-numeriqueschiltigheim-devant-strasbourg/	Communecter TellMyCity (Schiltigheim) OpenPerpi, application collaborative de gestion urbaine basée sur la modélisation 3D de la ville de Perpignan	Ile de France, France
		Gérer la ville avec les citoyens	Budget participatif écologique	Mon Smart Budget Participatif (smartidf.services)	Smart region : depuis 2018, les citoyens peuvent voter tous les ans sur la plateforme pour les projets écologiques qu'ils souhaitent voir la région financer.	Ile de France, France
	Information et open Data	Diffuser des données d'intérêt général	Diffusion des jeux de données qui pourraient être utiles aux citoyens	http://sd-36125.dediibox.fr/CityDashboard/ https://smartdata.smartidf.services/fr	Smart région : les administrations mettent à disposition sur la plateforme des jeux de données qui sont considérées comme importantes pour les citoyens. On retrouve par exemple les aménagements cyclables, les places et les coûts de stationnement, le tarif des titres de transport, les médecins...	Ile de France, France
		Améliorer l'offre d'OpenData	Participation des citoyens dans le développement de l'offre d'opendata	Project PLATEAU PLATEAU [プラットフォーム] (mlit.go.jp)	Plateau : au Japon, pour susciter l'intérêt des jeunes dans la question du développement mais aussi faire grandir plus vite l'offre de la plateforme, le gouvernement a créé divers hackathons. Cela permet de rassembler les gens, avoir de nouvelles idées sur les solutions à apporter dans la ville et de la faire évoluer dans une direction souhaitable.	Japon
	Collaboration accrue entre les acteurs de la ville	Assurer le lien entre les administrations	Partage d'informations entre les services de la ville ou du pays	PLATEAU (mlit.go.jp)	Plateau : créé pour lier les administrations, les ministères et les services pour ne pas perdre les données ou les collecter plusieurs fois	Japon

Pilier	Sous-pilier	Définition de l'usage	Exemple d' Usage / Exemple de Service	Liens / Sources	Exemple de mise en œuvre au sein de villes	France / International		
Mobilité intelligente	Transport et logistique	Fluidifier le trafic	Smart Traffic Control (management & analytics) : capteurs / informations de flux de trafic : optimisation des feux tricolores, cartographie réseau routier...		Sao Paolo, Shanghai, Le Caire, Moscou Nice Métropole Côte d'Azur : feux de signalisation intelligents Nevers Agglomération : passage piétons intelligent			
		Optimiser la logistique	Simulation des transports pour optimiser la logistique	3D都市モデル活用サービス事例 New Service PLATEAU プラトール (mlit.go.jp)	Plateau : simulation des flux de véhicules de chantier et de drones logistiques pour optimiser leurs trajets	Japon		
	Transport propre et écologique	Favoriser les transports "propres"	Incitation à l'usage des véhicules électriques et partagés			Rennes Métropole : Roulez branchez	Rennes, France	
			Incitation à la réduction de l'emprunte carbone dans les déplacements		Source : Learning cities (pdf) page 54	Solution de détection et d'incitation au co-voiturage		
						Helsinki : application "personal carbon trading CityCap", permet de récompenser les citoyens quand ils réduisent leur empreinte carbone dans leurs déplacements (places de cinéma, musées...)	Helsinki, Finlande	
						Signalisation lumineuse (SLT) en faveur des mobilités douces	Paris, Nantes et Lyon	
	Information en temps réel (sur la circulation)	Améliorer la circulation et le stationnement dans la ville	Lissage heures de pointe		https://www.comarch.fr/iot-ecosystem/smart-parking/ https://smartwork.smartidf.services/fr/lissageheurepointe	Smart région : ce service permet aux citoyens, entreprises et territoires de savoir comment améliorer leur impact sur les congestions. On y apprend comment continuer à garder le lien avec ses équipes malgré le télétravail, quelles sont les applications conseillées de covoiturage... Les entreprises peuvent trouver comment gérer les horaires décalés ou comment assurer la sécurité informatique des collaborateurs qui travaillent à distance. Enfin les territoires trouvent comment promouvoir le télétravail, le covoiturage, l'usage du vélo ...	Ile de France, France	
			Solution de stationnement intelligent (Smart parking)			Dijon Métropole	Dijon, France	
			Optimisation des transports en commun (bus)		Exploitez vos données temps réel avec ArcGIS	Angers : la smart city permet de suivre les bus en temps réel. Couplé à l'application Waze, la plateforme de gestion peut indiquer les temps de trajet espérer, les retards à prévoir... Il est aussi possible de réguler le trafic des bus en fonction de cela.	Angers, France	
			Détection des véhicules ventouses sur les bornes de recharge pour véhicules électriques ou hydrogènes					
			Comptage et analyse de flux tous véhicules (4 roues, 2 roues, mobilités douces, etc.)			Rennes Métropole : camions équipés de capteurs pour évaluer l'état de la circulation CCHPVA (relevés en temps réel de mobilité)	France	
	Système interconnecté	Favoriser la mobilité autonome et dynamique	Véhicule / transport Autonome Signalisation dynamique (Colas) : Flowell	https://onesitu.circet.fr/solutions-onesitu/guidage-smart-parking https://transpolis.fr/fr/experimentations-de-navettes-autonomes	Projet ENA Transpolis (Véhicule autonome)			

Pilier	Sous-pilier	Définition de l'usage	Exemple d' Usage / Exemple de Service	Liens / Sources	Exemple de mise en œuvre au sein de villes	France / International
Mode de vie intelligent	Nature et biodiversité	Faire découvrir la nature aux citadins	Conception de parcours adaptés aux envies et aux capacités de tous	smartidf.services/explorer-territoire/se-promener-et-pra	Smart Region Ile de France : interface SIG où les citoyens peuvent concevoir leurs sorties nature en fonction de leur niveau	Paris, France
		Sensibiliser les citoyens à la protection de l'environnement et de la biodiversité.	Formation de la population aux gestes de protection de l'environnement et de la biodiversité	ps//manatureenledefrance.smartidf.services/actions-natu	Smart Region Ile de France	Paris, France
	Vie culturelle	Améliorer l'accès à la culture	Maintien de l'accès à la culture malgré la pandémie	生活用サービス事例 New Service PLATEAU プラト	Plateau : le quartier de Ginza s'est transformé en jeu virtuel sur à partir de Plateau (application PC) pendant la pandémie (événement de 4 jours) pour continuer à être attractif. Avatar 3D, jeu de parkour sur le toit des bâtiments, trouer des objets dans des lieux culturels et historiques et possibilité d'échanger avec d'autres utilisateurs. (testé par 40 personnes)	Japon
					Dijon Métropole : sécurisation des espaces et bâtiments publics, vidéo surveillance. City park safety monitoring ; caméras de surveillance Détection de bagages abandonnés Alerte franchissement de voie Alerte danger (Agression, homme au sol, ...) Surveillance de l'état des bornes d'incendie	Dijon, France
	Santé	Réagir face à une pandémie	Solutions COVID-19 pour informer la population (dashboard, SMS...) grâce aux plateformes déjà existantes	Source : learning cities (pdf)	Smart nation de Singapour. Réponse rapide par la création d'une appli (contact tracing, formulaires...). SafeDistance@park pour respecter les gestes barrière, chatbot pour répondre aux questions (et craintes), web-app avec la fréquentation des magasins, endroits vendant des masques... et un whatsApp officiel pour informer et déformer (réduire les FakeNews)	Singapour
			Suivi de la distanciation sociale et proposition de parcours permettant de rencontrer le moins de personnes possibles	https://www.mlit.go.jp/plateau/use-case/activity-monitoring/	Japon : Plateau permet de surveiller les flux de personne à l'intérieur de certains bâtiments et à l'extérieur dans presque toute la ville. Pendant la pandémie, il a été utilisé pour surveiller le respect des distanciations sociales dans certaines rues commerçantes.	Japon
	Bâtiments	Gérer les bâtiments	Systèmes domotiques		SMARTHAB est une composante fondamentale des projets smart city et répond aux attentes des aménageurs en matière d'innovation numérique. CDC Habitat s'est associé au promoteur COFFIM et à l'application SmartHab pour imaginer un programme d'habitat entièrement connecté : la résidence Krystal Parc de Viroflay (78). Livré en mars 2019, ce projet expérimental repousse les limites en matière d'intégration du numérique dans la construction, et dessine les contours de ce que pourra être demain la « smart city ». Bordeaux Métropole : management de l'ensemble du mobilier urbain et des équipements interconnectés Rennes Métropole : déploiement d'une stratégie progressive de passage en BIM pour l'ensemble des bâtiments de l'intercommunalité ; conception des nouveaux bâtiments en BIM	Bordeaux, Rennes ..., France
			Collecte des données de consommation énergétique (eau, gaz, électricité)	https://www.compteur-electricite.fr/linky/	Compteur Linky pur suivi en temps réel de la consommation d'électricité en France. Lien avec les utilisateurs, les villes et les fournisseurs d'énergie.	France
			Détection des dysfonctionnements des équipements	Etude de cas Wave Vinci Energies - Lille - R2S (certivea.fr)	Smart building WAVE (VINCI energies) à Lille (Euratechnologies). Bâtiment comme un service, géré grâce à une application (ouverture des fenêtres, lumière, alarme, réservation de salle et de place de stationnement...) et refacturation à chaque service rendu. Régulation de la température et de la qualité de l'air.	Lille, France
			Gestion des espaces de travail		Application pour réserver les espaces de travail Bureaux qui remontent dans le plafond à la fin de la journée de travail pour permettre aux employés d'utiliser le bâtiment différemment. Cours de sport, soirées cinéma...	Pays-Bas
	Infrastructures	Gérer de manière autonome les infrastructures	Eclairage urbain dynamique		Smart Lighting / Connected Streetlights : Ajustement de l'éclairage urbain et de son intensité en fonction des conditions de luminosité et du trafic	Chine, Belgique, France
	Cohésion sociale	Favoriser le lien entre les voisins	Solidarité locale en temps de Covid	Source : learning cities (pdf) page 52	Singapour : pendant la pandémie, création de l'application BlaBlaHelp pour permettre aux voisins de se rendre service mutuellement (pour aller faire les courses par exemple)	Singapour
			Socialisation et cohésion du voisinage	Source : learning cities (pdf) page 52	à Medellin (Smart city), des bornes de hotspot wifi gratuit sont placées dans les rues. Peu de personnes ont les moyens de se payer un forfait illimité donc cela permet aux citoyens d'avoir accès facilement aux technologies. Autour de ces bornes, ce sont des véritables lieux de vie et de socialisation.	Medellin, Colombie
		Permettre à tous de s'intégrer et valoriser les différences	Emploi des personnes en situations de handicap		Singapour : "Enabling village" : un concept d'expérimentations autour du handicap, de l'accessibilité et de l'inclusion en faveur des personnes handicapées. Axé sur la conception universelle, ce village inclusif s'attache tout spécialement à la formation et l'emploi des personnes ayant un handicap.	Singapour

Pilier	Sous-pilier	Définition de l'usage	Exemple d' Usage / Exemple de Service	Liens / Sources	Exemple de mise en œuvre au sein de villes	France / International
Economie durable	Commerce	Placer les commerces de manière stratégique grâce à une analyse détaillée des flux	Emplacement des commerces en fonction des flux piétons		Smart région : Smart Implantation Paris Régions business club Market Place	Paris, France
		Favoriser la consommation dématérialisée	Commerce virtuel	Project PLATEAU PLATEAU [プラットフォーム] (mlit.go.jp)	Plateau : grâce à la modélisation de certains centres commerciaux de Tokyo, pendant la pandémie les habitants ont pu continuer de pratiquer leurs achats en se baladant dans les rayons de manière virtuelle, depuis chez eux.	Japon
	Productivité améliorée		Smart Work Agriculteurs solidaires Assist entreprise		Smart région	
	Innovation favorisée	Préparer au mieux la vie des futures entreprises	Accompagnement des entrepreneurs dans leur implantation et la création de leur entreprise	Smart Implantation (smartidf.services)	Smart région : Smart Implantation et Entrepreneurs #leaders. Carte et intelligence artificielle pour aider les entrepreneurs à choisir l'implantation de leur entreprise. Sorte de boîte à outils pour aider dans les démarches. Système de mentorat pour accompagner les entrepreneurs.	Ile de France, France
	Economie solidaire	Favoriser l'alimentation locale et de qualité dans les territoires	Mise en relation directe des producteurs et consommateurs	Service Mes Produits Locaux (smartidf.services)	Smart Region : "alimentation de proximité", "mes produits locaux", "du local sur mon plateau" et "agriculteurs solidaires". Mettre en lien les producteurs, les restaurants, les consommateurs les associations d'aides alimentaires et les cantines. Favoriser l'alimentation de qualité dans une grande ville et la pérennité des activités locales.	Ile de France, France
	Education et e-learning	Favoriser l'apprentissage des sciences	Valorisation des sciences locales pour créer un pôle attractif	Mon Île-de-Sciences - Coin des Pros (smartidf.services)	Smart région : agenda des événements scientifiques de la région. Mise en lien des acteurs des sciences (particuliers, étudiants, chercheurs, enseignants, entreprises, associations...). Propose des services tels que la mise à disposition de matériel, de données...	Ile de France, France
		Instruire autrement	Apprentissage de la géographie (ville et pays) aux enfants de manière ludique	A new Minecraft city model introduces Helsinki in more detail - Open data service (hri.fi)	Helsinki : La maquette numérique(Minecraft-Helsinki3D+) faite sur Minecraft permet aux jeunes (majoritairement, bien que le jeu soit open-source) de s'impliquer dans le processus de conception de la maquette puis de permettre aux écoles (et aux jeunes en général) de visiter, découvrir la ville d'une autre manière. De plus, la créativité y est sans limite donc chacun peut penser sa ville différemment (notamment, comment voyager en transport en commun, réduire la demande en énergie ou bien sur le plan architectural)	Helsinki, Finlande
		Former la population à de nouveaux usages	Formation des citoyens à l'usage du numérique et à l'apprentissage intergénérationnel	Source : learning cities (pdf) page 64	Singapour : Singapour Digital Office (programme Digital Ambassadors) pour inciter les jeunes à initier les plus âgés au numérique Estonie : SmartLabs pour promouvoir le numérique auprès des jeunes (formation pour les nouveaux métiers qui en découlent)	Singapour et Estonie (Smart Nations)
	Créativité et ouverture	Favoriser la culture (4ème pilier du développement durable) et lier les peuples	Création de lien entre les artistes et les villes entre elles. Promotion de la créativité, du savoir faire manuel et des arts. Amélioration de l'attractivité de la ville en l'incluant dans un vaste réseau.	Creative Cities Creative Cities Network (unesco.org)	Creative cities network UNESCO. Permet de lier les villes et les artistes entre eux. Valorise le savoir-faire de chacun et favorise le partage. Les villes sont incluses dans un réseau ce qui améliore leur attractivité. Les savoirs peuvent être partagés et on crée des pôles d'attractivité et d'innovation.	UNESCO

Pilier	Sous-pilier	Définition de l'usage	Exemple d' Usage / Exemple de Service	Liens / Sources	Exemple de mise en œuvre au sein de villes	France / International	
Environnement durable	Energies renouvelables	Optimiser la production de l'énergie photovoltaïque	Potentiel solaire : modèle 3D des toits des bâtiments Energies renouvelables	Mon potentiel solaire (smartidf-services)	Smart région : outil 3D permettant d'identifier si le toit sur lequel on veut mettre un panneau solaire est adapté à cet usage. C'est aussi un espace d'éducation avec des vrai/traux sur les énergies solaires. Les professionnels et les particuliers trouvent sur cette plateforme l'aide nécessaire à la réalisation de leur projet. La production de photovoltaïque est transmise en transparence au citoyen.	Ile de France, France	
	Pollutions	Mesurer et contrôler les pollutions urbaines	Qualité de l'air	Source : learning cities (pdf)	Smart région : SmartAir / Air quality monitoring : capteurs particules, SIG, modèles 3D Nice Métropole côte d'Azur (capteurs de pollen)	Ville de Tallinn	
			Suivi des nuisances sonores		Toulouse Métropole : modélisation des îlots de chaleur à partir de capteurs et d'un algorithme		
			Qualité de l'eau				
	Villes et territoires	Optimiser la rénovation des bâtiments et des espaces publics	Détection et prévention des îlots de chaleur	Rénovation énergétique		Smart région	
			Favoriser les habitats et villes bioclimatiques	Simulation des aspects bioclimatiques de la ville	Loppuraportti (hel.fi)	Helsinki : Le jumeau numérique d'un quartier permet de simuler la circulation des vents dans la ville, d'optimiser l'ensoleillement et l'ombre des bâtiments (essentiel pour une ville proche du cercle polaire). Une ville ou un quartier bien conçus consomment moins d'énergie.	Helsinki, Finlande
	Gestion eau / déchets / électricité / énergie	Optimiser les flux d'énergie et de matières dans la ville	Smart grids (collecte de données en continu sur les réseaux pour affiner les actions de maintenance et l'identification des problèmes techniques)			Ile de France, France	
			Solution d'optimisation de collecte des déchets		Barcelone Sydney Smart région ("Mon réflexe zéro déchet", "Détection des dépôts sauvages") Rennes : relevé des points d'apport volontaire, optimisation des tournées de collecte		
			Pilotage optimisé de l'irrigation des espaces vert (système d'arrosage intelligent)				
	Résilience	Gérer les risques (prévention, prévision, simulation)	Détection et prévention des feux de forêts	NSW Spatial Digital Twin (DTVS) (terria.io)	Australie NSW digital twin : jumeau numérique national de l'Australie qui permet le suivi des feux de forêt et d'autres catastrophes naturelles. Pour l'instant en openData, il n'y a que quelques feux de forêt passés mais la plateforme a été prévue pour déterminer les zones les plus à risque et présenter des plans d'action	Australie	
			Etude des niveaux de l'eau et prévision des risques d'inondations		SDEF, Cozzano : qualité de l'eau, évaluation des risques de crues Water level / Flood Monitoring : capteurs niveaux et débits de cours d'eaux + cartographie cours d'eau / hydrographie Contrôle de l'état d'ouverture ou de fermeture des exutoires et trappes		
			Prévention des catastrophes naturelles, industrielles et scénarios d'évacuation	I de prévention des catastrophes Cas d'utilisation I PLATEAU (mlit.go.jp)	Plateau : simulation d'évacuations de batiments ou villes en cas de catastrophes naturelles à différentes heures de la journée. Cela permet de se préparer en amont, d'adapter les exercices... catastrophes étudiées : séismes, inondations, tsunamis	Japon	
	Développement durable	Respecter les Objectifs de Développement Durable (ODD)	Suivi des bâtiments, secteurs et quartiers contribuant au respect des ODD	大丸有 Area Management City Index (mlit.go.jp)	Plateau : Création d'une application Web et d'un indice de bon management d'une région (AMCI) pour permettre d'attester qu'une région respecte les ODD ou non. Cela permet aussi aux entreprises de calculer combien de carbone elles émettent et d'établir la limite à ne pas dépasser.	Japon	

4. DONNÉES SMART CITY

4.1. Présentation générale

Transformation numérique des Territoires et zones urbaines

La transformation numérique et les stratégies dites axées sur les données (Data-Driven) ont bousculé les entreprises et les organisations et impactent de plus en plus les citoyens. Pour les entreprises, on parle de « Business Intelligence » ou informatique décisionnelle avec les systèmes d'aide à la décision.

Cette transformation a pour objectif d'améliorer l'efficacité des organisations et des acteurs œuvrant sur un territoire, notamment en termes environnementaux, énergétiques et de mobilité, la compréhension du territoire et de créer de nouveaux services numériques à destination du citoyen.

Cette transformation s'accompagne d'une augmentation exponentielle du volume de données numériques. Le stockage, l'analyse des données et leur exploitation se sont imposés comme des sujets centraux pour les entreprises et la sphère publique. Ces données numériques deviennent des biens communs pour tous. Elles sont valorisées, leur mise en relation crée de l'innovation et permet le développement de nouveaux services.

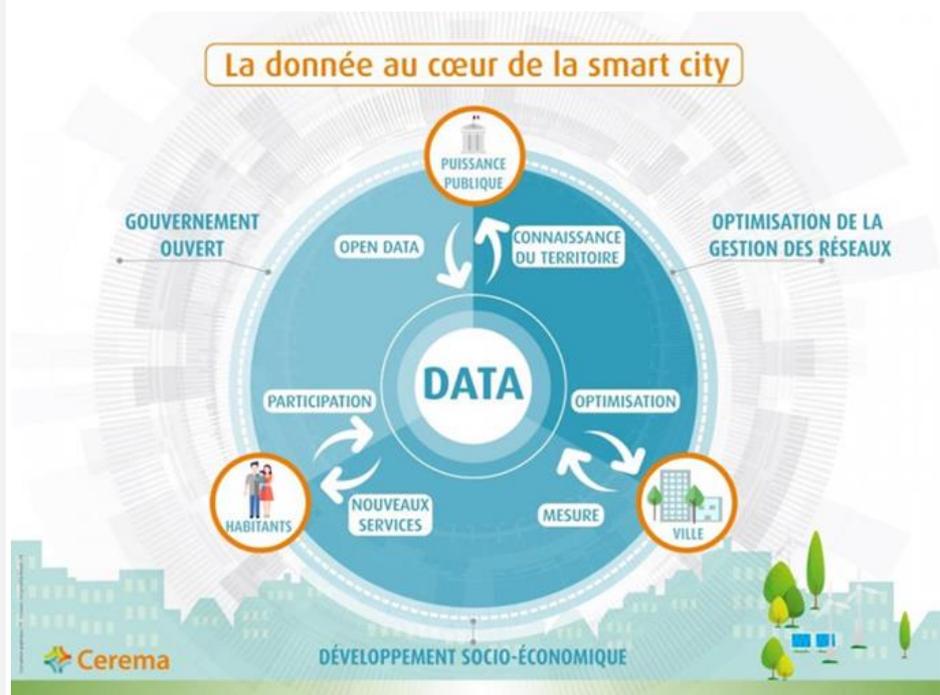
Villes et territoires intelligents et durables

Appliquée aux territoires et zones urbaines, cette transformation amène les Villes et territoires durables et intelligents (ou Smart City) – cf. chapitres 1 et 2 – avec leurs écosystèmes et services et données associées.

La Ville Intelligente / Smart City permet l'optimisation des prises de décision pour l'aménagement urbain ou en cas de catastrophe / crise (ville résiliente), basées sur l'information disponible dont les données des capteurs et IoT, ainsi que le développement de services innovants qui reposent sur la valorisation des données et sur les technologies de l'Intelligence Artificielle (IA).

La donnée au cœur de la Smart City

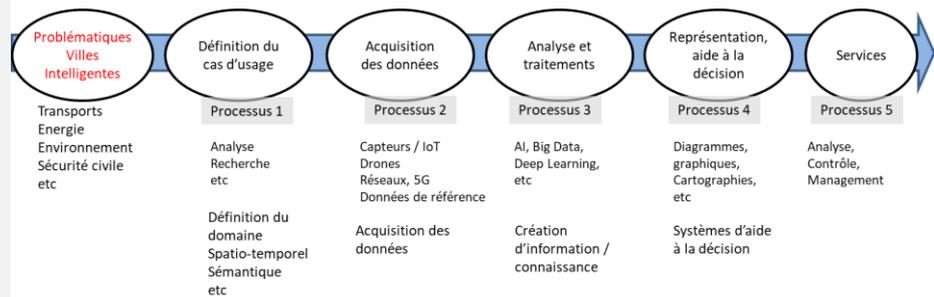
La donnée est un des prérequis essentiels à l'émergence de la Smart City ; elle est au cœur de la celle-ci, cf. cette illustration Cerema pour les Territoires intelligents.



Source Cerema (<https://smart-city.cerema.fr/territoire-intelligent/la-donnee-au-coeur-la-smart-city>)

La Smart City peut collecter des données sur les réseaux techniques et sur les usages des habitants, ainsi que sur l'état instantané des réseaux d'eau, d'électricité, de chauffage ou encore de transports, mesuré par des capteurs, pour optimiser sa gestion et améliorer la qualité de vie. La gestion des données constitue un enjeu stratégique pour la gestion du territoire, le développement économique et la démocratie locale.

De la collecte de la donnée à des services Smart City correspondant à un cas d'usage / domaine donné, l'information pertinente et connaissance doit être produites à partir de diverses données collectées pour alimenter les systèmes d'aide à la décision en support des services de la Ville intelligente (cf. figure suivante).



Open data et gouvernance urbaine

Selon Antoine Courmont [Quand la donnée arrive en ville], « dans une perspective de "Science and Technology Studies" (STS), la donnée peut être définie comme un dispositif sociotechnique, constitué d'un réseau composé d'un ensemble d'actants reliés entre eux par des associations particulières. Cette définition insiste sur le caractère relationnel de la donnée : la donnée est constituée d'un tissu de relations. Les données peuvent être ou sont politiques, parce qu'elles proposent une représentation du monde à partir de laquelle les acteurs vont se coordonner, agir, prendre des décisions, etc. Concomitamment, les données sont politiques, parce qu'elles sont insérées dans et recomposent des relations de pouvoir entre et au sein des organisations. »

« Les données sont porteuses d'une représentation du monde. Elles véhiculent une façon, toujours partielle et réductionniste, de concevoir un problème public qui structure les actions possibles. Comme toute technologie cognitive, si elles rendent visibles des choses, les données sont, dans le même temps, porteuses de fortes invisibilités, et peuvent générer de l'ignorance et influencer sur l'action publique. Les données ont ainsi des effets propres : elles permettent des formes d'action collective et en contraignent d'autres. Elles sont des technologies de gouvernement associant savoir et pouvoir. Elles structurent un univers de possibles ou de contraintes qui oriente les comportements ».

« La donnée est également facteur de recomposition des relations entre les acteurs publics et privés participant au gouvernement des territoires. Loin de réifier la frontière entre les sphères publiques et privées, la donnée illustre sa porosité. Tant dans ses modalités de production que dans ses usages, elle ne cesse de circuler entre public et privé. À ce titre, elle se distingue des statistiques publiques, étudiées notamment par Alain Desrosières, qui restent très fortement ancrées dans un cadre national et public. L'open data manifeste cette circulation, puisque les données ouvertes par l'institution publique ont vocation à être réutilisées par des acteurs privés. »

Cette circulation est à la fois un risque et une opportunité pour la régulation publique des territoires. Les données peuvent participer à la construction d'une capacité d'action collective au-delà des frontières de l'institution publique. L'ouverture des données renforce alors le pouvoir sémantique de l'institution publique, sa capacité à définir et imposer une représentation de la réalité à partir de laquelle des acteurs vont s'appuyer pour agir. À l'inverse, l'open data peut conduire à fragiliser le pouvoir de l'institution publique si les données sont transformées et utilisées dans un sens contraire à celui souhaité par l'acteur public.

Plateformes de données

Les données peuvent être statiques (par exemple maquette urbaine ou maquette BIM) ou dynamiques, provenant notamment de capteurs (par ex. IoT) ou de données diverses (statistiques, économiques, santé publique, environnementales, ...).

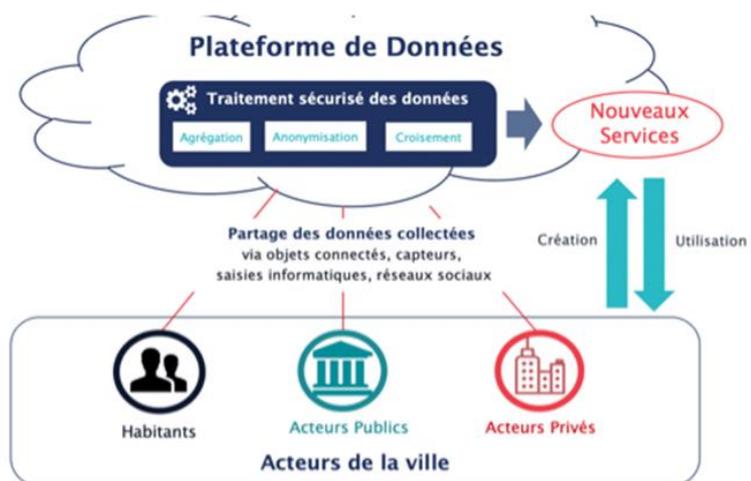
Les données des villes intelligentes doivent partager des descriptions sémantiques communes afin de faciliter les futurs services dans les « villes intelligentes ».

Un **modèle de référence Smart Cities** définissant l'ensemble des objets urbains est nécessaire pour assurer l'interopérabilité relative aux données, services et systèmes pour les divers domaines d'usage des villes intelligentes.

Ces données doivent être analysées et qualifiées, ainsi que documenter leur provenance / traçabilité, afin de permettre de fiabiliser leur exploitation et les décisions qui pourront être prises sur la base des informations disponibles.

Des mécanismes d'agrégation / fusion des données sont nécessaires, notamment pour construire les indicateurs de performance qui sont à la base des outils Smart Cities, selon les diverses thématiques, notamment : Smart Environment, Smart Mobility, Smart Economy, Smart Governance...

Les **plateformes de données** répondent au besoin de centralisation et de mise à disposition des données par **un tiers de confiance**. Les données restent la propriété de ceux qui les injectent et peuvent, ainsi, être partagées avec ou sans conditions. Les croisements de données brutes d'acteurs différents sont alors réalisés au sein de ces plateformes de données afin de produire des données agrégées partageables et utilisables pour développer de nouveaux services.



Source : [Le monde de l'énergie : Smart Cities : l'enjeu de la gouvernance des données](#)

Quelques exemples de plateformes de données

Pour répondre aux besoins Smart Cities, plusieurs projets de plateforme de données voient le jour en France. Nous pouvons citer :

- La solution 3DEXPERIENCity de Dassault Systèmes à Rennes avec la plateforme web <http://data.rennesmetropole.fr>
- La plateforme MUSE®, développée par Citelum, à Dijon de gestion connectée de l'espace public, cf. <https://www.citelum.fr/news/muse-revolutionne-dijon-metropole/>
- le Grand Lyon a structuré une politique de gouvernance territoriale des données depuis 2012. Celle-ci s'est constituée à partir des données provenant des systèmes d'information géographique (SIG) et des données du secteur de la mobilité, cf. <https://data.grandlyon.com/>

Présentation du contenu du chapitre 3 : Données

- Ou encore la Plateforme Régionale d'Innovation pour les Données d'Énergie (PRIDE) développée par un consortium d'acteurs privés pour les régions Bretagne et Pays de Loire.

Cf. <https://smile-smartgrids.fr/fr/les-projets/nos-projets/pride.html>

Ce chapitre relatif aux données Smart Cities rappelle d'abord les cas d'usages qui ont été considérés dans cette partie de l'état de l'art relatif aux données.

Il présente ensuite les références normatives identifiées comme pertinentes, ainsi que les principaux groupes de travail normalisation actifs sur ces sujets de la Smart Cities et de leurs données d'intérêt sur leur territoire.

Les enjeux majeurs relatifs aux données de la Smart City sont ensuite présentés.

Puis les caractéristiques utilisées dans ce chapitre sont présentées, à savoir les thématiques de données et les points durs identifiés. Les critères de caractérisation des données dans l'état des données Géo, BIM et IOT sont ensuite documentés.

Enfin, un état des données Smart City classées selon les 2 domaines d'usage Géospatial / SIG et BIM est fourni, sur la base de tableaux synthétiques. Une section spécifique est dédiée aux données IOT, dont l'état des technologies est fourni par ailleurs dans le chapitre 4.

4.2. Cadrage : cas d'usage et données nécessaires

Introduction

Parmi les cas d'usage, à noter en particulier :

- les cas d'usages liés aux transports / les mobilités,
- les cas d'usage liés à l'urbanisme, dont la soumission de demande de permis de construire, avec la maquette de projet (BIM/IFC ou CityGML ou InfraGML) associée, les services d'instruction devant disposer d'une maquette urbaine 3d (CityGML ou équivalent), du cadastre, d'une modélisation de la voirie et des règles d'urbanisme (plus). La faisabilité de ce cas d'usage a été évaluée en 2016-2017 dans le cadre d'un pilote expérimental OGC, appelé « Future cities pilot », avec des données fournies par Rennes Métropole (sur la commune de Bruz) et par l'IGN. Les engineering reports (en anglais) sont publiés sur le site OGC, cf. <http://docs.opengeospatial.org/per/16-098.html> et <http://docs.opengeospatial.org/per/16-097.html>.
- les cas d'usages liés énergétiques / potentiel solaire,
- les cas d'usages liés à la pollution de l'air, et l'émission de GES,
- les cas d'usage liés à la gestion des catastrophes et sécurité civile (par ex. risque inondation ou accident industriel).

Aperçu d'initiatives nationales

Smart Cities - Grand Lyon

Programme Smart Cities du Grand Lyon, depuis 2012, avec son volet données des acteurs du territoire de la Métropole de Lyon, cf. <https://data.grandlyon.com/>

Smart Cities – Ile-de-France

Programme Smart Ile-de-France, avec 2 premiers axes d'évaluation, dont mon potentiel solaire, basé sur une cartographie du potentiel solaire des 2,5 millions de bâtiments du territoire. Le programme smart Ile-de-France est basé sur une plateforme smart plateforme 2030 et un système d'abonnement des acteurs. cf. <https://monpotentielsolaire.smartidf.services/fr>

EcoCité

ÉcoCité est une démarche issue du Grenelle de l'Environnement qui concourt à la réalisation de la ville de demain. Elle s'intègre dans un ensemble de démarches

portées par l'Etat (Écoquartiers, Démonstrateurs industriels pour la ville durable, Territoires à Énergie Positive pour la Croissance Verte, Ateliers des territoires, Zéro gaspillage zéro déchets...).

La démarche ÉcoCité s'adresse aux métropoles, aux grandes agglomérations et aux établissements publics d'aménagement, en partenariat avec le secteur privé. Elle vise à la promouvoir une stratégie urbaine durable et globale, concrétisée dans le territoire par des projets urbains intégrés.

Les grands chantiers opérationnels (le Lab Ecocité) :

- Rénovation énergétique : Mettre en œuvre des projets de rénovation de niveau bâtiments basse consommation (BBC),
- Formation au standard international de management villes et territoires durables et résilients - ISO 37101 : Créer un cadre de dialogue commun partagé à l'international,
- Préfiguration d'"IBA (Internationale BauAusstellung / Expérimentation - Exposition internationale de la Construction) à la française" : Expérimenter et faire émerger un dispositif innovant de management de projets urbains,
- Évaluation : Évaluer, capitaliser et assurer la cohésion et la solidarité des territoires. (Pour aller plus loin : nouveau module évaluation de l'Explorateur EcoCités).

Avec un objectif transversal : Réinventer la gouvernance : mettre les ÉcoCités au cœur de l'animation, tout en affirmant le rôle de facilitateur de l'État.

Aperçu d'initiatives européennes

Open & Agile Smart Cities

La mission d'Open & Agile Smart Cities (OASC) est d'unir les villes et les communautés du monde entier pour créer un marché mondial de solutions, de services et de données basé sur les besoins des villes et des communautés.

Pour accomplir cette mission, l'OASC soutient les mécanismes d'interopérabilité minimale (MIM), un ensemble de capacités pratiques basées sur des spécifications techniques ouvertes qui permettent aux villes et aux communautés de reproduire et de mettre à l'échelle des solutions à l'échelle mondiale. Les MIM sont développés par le Conseil technologique de l'OASC et régis par le Conseil des villes et le Conseil d'administration.

À ce jour, l'OASC dispose de 3 mécanismes d'interopérabilité minimale (MIM) :

- Gestion des informations contextuelles,
- Modèles de données communs,
- Facilitateurs du marché (gestion des transactions écosystémiques).

Deux MIM supplémentaires ont été proposés et acceptés :

- Gestion des données personnelles,
- Intelligence artificielle équitable (Fair Artificial Intelligence).

Un MIM supplémentaire Gestion d'information géospatiale (MIM7) doit également être lancé.

7 villes françaises sont à ce jour impliquées dans cette communauté : Arras, Amiens Métropole, Bordeaux, Issy Les Moulineaux, Saint Quentin, Soissons, Valenciennes Métropole.

Cf. <https://oascities.org/>

Pilote Synchronicity (2017-19)

Le « Large-Scale Pilot IoT » européen SynchroniCity sur les Smart Cities (dans le cadre du programme H2020 IoT-LSP de 104 millions d'euros) avec 8 villes européennes principales (dont Bordeaux), 38 partenaires au total, un budget de 20 millions d'euros a eu lieu pendant 36 mois (2017-19). SynchroniCity visait à établir

<p>StandICT.EU / Smart Cities</p>	<p>un marché ouvert pour les services urbains IoT basés sur les mécanismes d'interopérabilité minimale (MIM) des villes intelligentes ouvertes et agiles (OASC). Le projet a validé les MIM ainsi que d'autres standards existants et émergents à travers une vingtaine de projets pilotes impliquant au moins deux villes, avec appel ouvert à l'adhésion de nouvelles villes et entreprises. SynchroniCity s'est appuyé sur des initiatives telles que EIP-SCC (European Innovation Partnership on Smart Cities and Communities), FIWARE et oneM2M et y a contribué ; les résultats de validation et les nouvelles spécifications ont été transmis aux organismes de standardisation européens et mondiaux concernés, tels que l'ETSI et l'UIT-T. cf. www.synchronicity-iot.eu</p> <p>La Commission Européenne a mis en place STandICT.EU pour soutenir la présence d'experts européens dans les activités de normalisation internationale dans le domaine des TIC, ainsi qu'un observatoire européen de normalisation (EUOS). Parmi les axes de cet observatoire, figure la thématique Smart Cities.</p>
--	---

4.3. Références normatives et autres documents de référence

<p>Normes</p>	<p>Note : les titres sont en anglais lorsque la traduction officielle en français n'est pas disponible.</p> <p>ISO</p> <p>ISO 37100:2016 : Villes et communautés territoriales durables — Vocabulaire</p> <p>ISO 37101:2016 : Développement durable au sein des communautés territoriales — Système de management pour le développement durable — Exigences et lignes directrices pour son utilisation</p> <p>ISO 37104:2019 : Villes et communautés territoriales durables — Transformer nos villes — Recommandations pour la mise en œuvre pratique de l'ISO 37101 sur le plan local</p> <p>ISO 37105:2019 : Développement durable des collectivités — Cadre descriptif pour les villes et les collectivités</p> <p>ISO 37106:2018 : Villes et communautés territoriales durables — Lignes directrices pour l'établissement de stratégies pour les villes intelligentes et les collectivités</p> <p>ISO/TS 37107:2019 : Villes et communautés territoriales durables — Modèle de maturité pour des communautés territoriales durables et intelligentes</p> <p>ISO 37120:2018 : Villes et communautés territoriales durables — Indicateurs pour les services urbains et la qualité de vie</p> <p>ISO 37122:2019 : Villes et communautés territoriales durables — Indicateurs pour les villes intelligentes</p> <p>ISO 37123:2019 : Villes et communautés territoriales durables — Indicateurs de performance pour les villes résilientes</p> <p>ISO 37156:2020 : Infrastructures urbaines intelligentes — Cadre directeur pour l'échange et le partage de données pour les infrastructures urbaines intelligentes</p> <p>ISO/IEC 30146:2019 : Information technology — Smart City ICT indicators</p> <p>ISO/IEC 30145-2:2020 : Information technology — Smart City ICT reference framework — Part 2: Smart City knowledge management framework</p> <p>ISO/IEC 30145-3:2020 : Information technology — Smart City ICT reference framework — Part 3: Smart City engineering framework</p> <p>ISO/IEC 21972:2020 : Information technology — Upper-level ontology for Smart City indicators</p>
----------------------	--

	<p>ISO 20524-1:2020 Systèmes de transport intelligents — Fichiers de données géographiques (GDF) GDF5.1 — Partie 1: Données cartographiques partagées entre sources multiples et indépendantes des applications</p> <p>ISO 10303-1 :2021 — Systèmes d'automatisation industrielle et intégration — Représentation et échange de données de produits — Partie 1: Aperçu et principes fondamentaux</p> <p>ISO 16739-1 :2018 — Classes IFC pour le partage des données dans le secteur de la construction et de la gestion de patrimoine — Partie 1: Schéma de données</p>
AFNOR	<p>XP ISO/TS 37107:2021 : Villes et communautés territoriales durables - Modèle de maturité pour des communautés territoriales durables et intelligentes (Spécification technique expérimentale, soumise par l'AFNOR – VTDI / France)</p>
CEN	<p>NeTEx Network Timetable Exchange : standard CEN de référence pour échanger des données d'offre théorique du transport collectif, défini au niveau européen.</p> <p>http://netex-cen.eu/ + cf. https://www.data.gouv.fr/fr/datasets/referentiel-des-lignes-et-des-arrets-au-format-netex/</p>
Autres	<p>Smart cities – Guide to establishing a decision-making framework for sharing data and information services. BSI Standards Publication PAS 183:2017</p> <p>CityGML v2 - City Geography Markup Language (CityGML) Encoding Standard – OGC 12-019 https://portal.ogc.org/files/?artifact_id=47842 (modèle conceptuel et encodage GML). À noter que dans cette version, le modèle intérieur n'est qu'en LOD4 (niveau de détail le plus élevé).</p> <p>CityJSON CityJSON Community Standard 1.0 OGC 20-072r2 https://docs.ogc.org/cs/20-072r2/20-072r2.html (encodage JSON d'un profil simplifié de CityGML v2). A noter qu'une révision 1.1 est en cours de soumission à l'OGC, basé sur le modèle conceptuel CityGML 3.</p> <p>City Geography Markup Language (CityGML) v3 Part 1: Conceptual Model Standard – OGC 20-010 https://docs.ogc.org/is/20-010/20-010.html (modèle conceptuel uniquement). À noter que dans cette version, le modèle intérieur est possible à tous les niveaux de détail LOD0 à 3 (et que le LOD4 est de ce fait supprimé).</p> <p>GTFS (General Transit Feed Specification) – spécification ouverte Google – cf. https://developers.google.com/transit/gtfs/ pour les flux de transports en commun.</p> <p>Sensor Things API v1.1 Part 1: Sensing OGC 18-088 https://docs.ogc.org/is/18-088/18-088.html. L'évolution majeure est que désormais toutes les entités (sauf HistoricalLocation) ont désormais un champ de type JSON Object, nommé « properties » ou « parameters », pour les métadonnées associées à ces entités.</p> <p>Sensor Things API v1.0 Part 2 – Tasking Core OGC 17-079r1 http://docs.opengeospatial.org/is/17-079r1/17-079r1.html (révision 1.1 en cours).</p> <p>IndoorGML 1.1 – OGC 19-011r4 https://docs.ogc.org/is/19-011r4/19-011r4.html</p> <p>Indoor Mapping Data Format Community Standard OGC 20-094 (Apple Indoor Mapping specification) https://docs.ogc.org/cs/20-094/index.html</p>

Groupes de travail

ISO	<p>ISO/IEC JTC1 Working Group 11 Smart Cities : Framework, piloté par la Chine</p> <p>ISO/TC 268 : Villes et communautés territoriales durables, piloté par la France (AFNOR VTDI) avec un Steering-Committee (SC) décomposé en 6 groupes de travail, dont :</p>
------------	--

- SC 1/WG 1 Méthodes de mesure de l'intelligence des infrastructures,
- SC 1/WG 2 Cadre d'intégration et d'interaction pour les infrastructures urbaines intelligentes,
- SC 1/WG 3 Transports intelligents,
- SC 1/WG 4 Echanges et partage de données pour les infrastructures urbaines intelligentes,
- SC 1/WG 6 Réduction des risques de catastrophe,

et 3 sous-groupes de travail :

- WG 1 Normes de système de management,
- WG 2 Indicateurs urbains,
- WG 4 Processus intelligents et modèles stratégiques pour les communautés territoriales durables.

De plus le groupe TG2 a la charge du Recueil des bonnes pratiques et des besoins des villes.

Parmi les travaux en cours Villes et communautés territoriales durables / Sustainable cities and communities, on notera :

- ISO/DIS 37110 : Management guidelines of open data for smart cities and communities — Part 1: Overview and general principles.
- ISO/DIS 37166 : Urban data integration framework for Smart City planning (SCP)
- ISO/CD 37170 : Data framework of infrastructure governance base on digital technology
- ISO/AWI TS 37172 : Data exchange and sharing for community infrastructures based on geo-information.
- ISO/WD 37173 : Development Guidelines for Information-based Systems of Smart Buildings

Enfin, on notera le JTC1 mène actuellement les projets suivants relatifs aux modèles de données urbaines :

- ISO/IEC 5087-1, City data model — Part 1: Foundation level concepts (au stade WD)
- ISO/IEC 5087-2, City data model — Part 2: City level concepts (au stade WD)
- ISO/IEC 5087-3, City data model — Part 3: Service level concepts - Transportation planning (au stade en développement).

TC 268/SC 1 Infrastructures urbaines intelligentes

ITU-T - SG20

ITU-T - SG20 - Internet of things (IoT) and smart cities and communities (SC&C)

AFNOR

Villes et territoires durables et intelligents (commission VTDI)

Les aspects couverts sont les systèmes de management, méthodes et outils relatifs notamment à :

- la performance des actions et opérations d'aménagement dans les phases de conception, mise en œuvre, évaluation, mesure et amélioration continue,
- le fonctionnement des villes et des services urbains et la qualité du cadre de vie et de l'environnement de travail,
- l'évaluation, la mesure et l'amélioration de "l'intelligence" et de la performance des services à la population (énergie, eau, transports télécommunications, déchets...) et des technologies leur permettant d'opérer en réseau,
- le recueil, l'analyse, la gestion, l'utilisation et la communication de données contribuant à attester la performance des actions et opérations d'aménagement et l'efficacité des parties intéressées et de réaliser des analyses comparatives du type "benchmarking".

- OGC** Open Geospatial Consortium (www.ogc.org) : les standards (modèles de données, API et services web) sont disponibles sous <https://www.ogc.org/standards/>, les schémas (GML ou JSON) sous <http://schemas.opengis.net/>.
- On notera en particulier les standards CityGML, CityJSON, LandInfra (modèle conceptuel pour les Infrastructures, développé en remplacement de LandXML), dont le package LandInfra Alignment (modèle UML commun avec IFC Alignment), et l'encodage InfraGML (en GML).
- CNIG** Conseil National de l'Information Géographique (<http://cnig.gouv.fr/>)
- On notera en particulier les standards CNIG PCRS (Plan corps de Rue Simplifié, cf. http://cnig.gouv.fr/wp-content/uploads/2017/12/CNIG_RTGE_PCRS_v2.0.pdf) et les ressources Dématérialisation des Documents d'Urbanisme, cf. http://cnig.gouv.fr/?page_id=2732 et les travaux en cours relatifs à un géostandard de description simplifiée des réseaux enterrés (Star-DT) et des réseaux électriques Star-Elec).
- OMF** Open Mobility Foundation (<https://www.openmobilityfoundation.org/>)
- On notera en particulier les spécifications ouvertes MDS - "Mobility Data Specification" (cf. <https://www.openmobilityfoundation.org/about-mds/>), orientée mobilités douces et covoiturage (à ce jour).
- À noter que pour la mobilité en 2 roues, la North American Bikeshare Association (NABSA) a également une spécification ouverte GBFS (General Bikeshare Feed Specification), disponible sous github : <https://github.com/NABSA/gbfs>, utilisée notamment aux USA et à Québec, mais aussi en France pour les services de vélo libre-service.

4.4. Enjeux majeurs relatifs aux données Smart City

Présentation générale

Les enjeux majeurs de la Smart City (et des données nécessaires à leur mise en œuvre) sont principalement :

- **Efficiences** : amélioration des services ou mise en place de nouveaux services ; cette efficacité dépend notamment du bon usage des données, de leur collecte à leur utilisation partagée et de manière transverse, facilitée par les réseaux / infrastructures de données / services.
- **Durabilité** : gestion durable des ressources, notamment eau, énergie, déchets, moyens de transports (mobilité) et habitat (logement et locaux commerciaux / bureaux), conditionnée par les systèmes de régulation et d'aide à la décision.
- **Résilience** : capacité de réaction rapide / temps réel aux crises / catastrophes, qu'elles soient de nature naturelle (p.e. inondation), artificielle (p.e. menace chimique ou pic de pollution), et de sécurité (p.e. fait grave d'un individu ou groupe d'individus).
- **Attractivité** : notamment en termes économiques et commerciaux, touristiques et culturels.
- **Inclusion** : la participation des citoyens et de tous les acteurs est nécessaire pour co-construire la Ville Intelligente et durable. Pour ce faire, les acteurs doivent être informés et si nécessaire formés, et l'adhésion et la confiance de tous est nécessaire. En particulier, les acteurs doivent avoir confiance dans les informations et services fournis. Une gouvernance doit être mise en place pour assurer cette confiance et la sécurité des services et données, dans le respect des droits des acteurs, ainsi qu'un mécanisme de médiation pour gérer tout conflit éventuel.

Ces aspects réglementations, sécurité et gouvernance sont développés ci-après.

L'Union Européenne, pour le développement régional et urbain de l'UE, finance et promeut diverses initiatives ou projets européens, cf. https://ec.europa.eu/info/eu-regional-and-urban-development/topics/cities-and-urban-development/city-initiatives/smart-cities_en, par exemple :

- Smart Cities Marketplace : Le Smart Cities Marketplace a été créé en fusionnant les deux anciens projets de la Commission « Marché du partenariat européen d'innovation sur les villes et les communautés intelligentes » (EIP-SCC) et le « Système d'information sur les villes intelligentes » (SCIS) en une seule plateforme. Il s'agit d'une entreprise majeure de transformation du marché qui vise à rassembler les villes, les industries, les PME, les investisseurs, les chercheurs et d'autres acteurs de la ville intelligente. Cf. <https://smart-cities-marketplace.ec.europa.eu/>
- URBACT : L'objectif est d'aider les villes à développer des solutions pragmatiques, nouvelles et durables, intégrant des thématiques urbaines économiques, sociales et environnementales. Cf. <https://urbact.eu/>
- Le hub URBIS : plateforme dédiée au conseil en investissement urbain au sein de la plateforme européenne de conseil en investissement (European Investment Advisory Hub EIAH). URBIS est mis en place pour fournir un soutien consultatif aux autorités urbaines pour faciliter, accélérer et débloquer les projets, programmes et plateformes d'investissement urbain. URBIS a été développé en partenariat par la Commission européenne (DG REGIO) et la BEI dans le cadre du guichet unique de l'UE pour les villes et à l'appui des ambitions définies dans l'agenda urbain de l'UE. Cf. <https://eiah.eib.org/about/initiative-urbis.htm>. Une plateforme (portail d'accès restreint aux membres inscrits) a été migrée sous la plateforme Futurium dédiée aux échanges relatifs aux politiques européennes <https://futurium.ec.europa.eu/en>.

À partir de 2017, et sous l'effet des inquiétudes exprimées par l'administration fédérale américaine, la plupart des pays européens ont pris conscience de la nécessité d'exercer une certaine maîtrise à l'égard des dispositifs et des logiciels que les opérateurs des réseaux 5G étaient en train de déployer sur leur territoire.

La Suède et le Danemark ont écarté de leurs marchés les fournisseurs établis dans des pays que leur gouvernement ne considère pas comme des alliés sûrs dans une perspective de sécurité. La Suède a même imposé aux opérateurs un délai qui prendra fin en 2025, pour éliminer les composants indésirés de leurs infrastructures.

La Slovénie, la Pologne, la Lettonie, la République Tchèque, la Slovaquie, la Roumanie et la Bulgarie ont signé un protocole qui aligne les dispositions qu'elles prennent, sur les recommandations de l'administration fédérale américaine.

En Italie, le gouvernement peut opposer un veto aux accords d'approvisionnement 5G qu'il considère comme une menace pour la sécurité nationale. La Finlande a fait évoluer ses lois dans le même sens.

En France, la loi n°2019-810 du 1^{er} août 2019 a soumis à l'autorisation préalable tous dispositifs matériels ou logiciels, permettant de connecter les terminaux des utilisateurs finaux au réseau radioélectrique mobile, à l'exception des réseaux de quatrième génération et des générations antérieures, qui, par leurs fonctions, présentent un risque pour la permanence, l'intégrité, la sécurité, la disponibilité du réseau, ou pour la confidentialité des messages transmis et des informations liées aux communications, à l'exclusion des appareils installés chez les utilisateurs finaux ou dédiés exclusivement à un réseau indépendant, des appareils électroniques

passifs ou non configurables et des dispositifs matériels informatiques non spécialisés incorporés aux appareils qui sont utilisés par les opérateurs qui exploitent exploitant d'un réseau de communications électroniques ouvert au public.

En Espagne, le gouvernement s'appuie surtout sur des procédures administratives et des expertises pour autoriser l'utilisation de certains composants.

Le 26 mars 2019, avec l'accord du Conseil Européen, la Commission de l'Union Européenne a adopté une recommandation relative à la Cybersécurité des réseaux 5G qui appelle les états membres à effectuer une analyse, à l'échelon national, des risques et à collaborer en vue d'une estimation des risques à l'échelle de l'Union et de la définition d'une boîte à outils qui permettra de les réduire.

La coordination de ces efforts est assurée par l'Agence de l'Union Européenne pour la Cybersécurité (European Union Agency for Network and Information Security - ENISA).

Le 28 mai 2021, la présidence de la République Fédérale d'Allemagne a publié le "IT Security Act 2.0" qui venait d'être adopté par le parlement fédéral qui étend notamment au secteur du traitement des déchets ménager les dispositions déjà en place pour les secteurs qui sont considérés critiques (énergie, technologie de l'information, télécommunications, transports, régulation du trafic, santé, distribution et traitement de l'eau, alimentaire, finance et assurance). La loi s'applique désormais aussi aux fabricants de composants critiques destinés aux chaînes d'approvisionnements globales (supply chains) et aux infrastructures destinées à assurer la sécurité publique. Elle concerne enfin les fournisseurs de la défense nationale et ceux dont les produits permettent le traitement des informations classifiées par l'état, les grands-groupes et un certain nombre d'entreprises dont le fonctionnement doit être garanti en situation de crise.

La loi crée pour ces entreprises l'obligation de déclarer les infrastructures critiques auprès de l'Agence Nationale pour la Sécurité de l'Information (BSI), d'utiliser des systèmes de détection des attaques, de répondre aux demandes d'explications qui leur sont soumise par la BSI, de transmettre au BSI, en temps réel, l'information relatives aux pannes de l'infrastructure, de déclarer à la BSI, les acquisitions de composants critiques qu'elles projettent. La BSI détient le pouvoir d'autoriser ou d'interdire l'usage de certains composants, et même celui d'interdire les nouvelles acquisitions de composants précédemment autorisés.

En mai 2021, le Portugal, le Luxembourg, l'Autriche et les Pays-Bas n'avaient pris aucune mesure dans ce domaine.

Réglementation INSPIRE

Réglementation INSPIRE relative aux données environnementales : au sein de l'UE, libre circulation des données. Cf. <https://inspire.ec.europa.eu/>.

Règles Export Contrôle

La normalisation est également un enjeu fort tout particulièrement pour renforcer la position de la filière sur les marchés extérieurs en diffusant son expertise dans les règles techniques internationales, et pour porter à l'exportation les technologies et les savoir-faire français en matière de villes durables, sûres et connectées.

Cette normalisation est notamment portée par le Comité Stratégique de Filière (CSF). cf. <https://www.conseil-national-industrie.gouv.fr/comites-strategiques-de-filiere/industries-pour-la-construction>.

En ce qui concerne les règles de contrôle import et export en lien avec la réglementation douanière, le secteur de la SmartCity peut être soumise à certaines restrictions notamment dans la circulation des matériaux et technologies échangées. (<https://www.douane.gouv.fr/fiche/restriction-de-circulation-ou-interdiction-de-certaines-marchandises>).

Néanmoins le champ d'application des règles strictes Export Control applicables aux domaines sensibles et militaires est principalement gérées au travers de

Sécurité des données

projets dédiés permettant de gérer la bonne ségrégation des données (non publique) au travers de chantiers contractuels spécifiques.

Il n'est cependant pas exclu que les données, tout comme les moyens de connexion, mises en œuvre et manipulées dans les villes intelligentes et connectées, puissent participer ou être indirectement soumises à certaines de ces règles. Un point de vigilance sur ce sujet est à mettre en avant.

CNIL

Le traitement des données autour de la Smart City n'échappe pas aux règles et à la législation sur la protection des données personnelles. Cf. CNIL.

La protection de la vie privée des personnes dont les données sont donc recueillies pour faire fonctionner une Smart City est donc une question incontournable.

En ce sens, une mise sous contrôle des données collectées, si elles peuvent présenter des données à caractère personnel ou sensible est une condition essentielle de la mise en œuvre de la mécanique des villes connectées.

En effet en capturant des images ou vidéos (véhicule, piétons, N° immatriculation, ...), en collectant des données (géolocalisation GPS des téléphones ou des véhicules, nombre de passage par un point défini en lien avec un type de véhicule ou d'une personne, pouvant éventuellement être identifiée, habitudes vestimentaire ... ou en exposant des conclusions autour de ces données à un tiers pour traitement, il y a un risque non négligeable d'enfreindre la réglementation.

Le contrôle et la protection des données ainsi collectées reposent sur la normalisation et la certification des moyens technologiques de traitement et de rétention des données et est au cœur de tout projet Smartcities.

Un point d'attention est également à mettre en exergue concernant l'autorisation de capture d'informations personnelles et leurs diffusions.

Protection de la vie privée

Mais alors comment concilier recueil, utilisation de données personnelles et respect du droit à la vie privée ?

L'exemple de la géolocalisation des téléphones portables comme données Smart City par le réseau d'antennes relais déployés dans les villes est une bonne illustration : Les opérateurs de télécommunications propriétaires de ces antennes sont en effet capables de localiser dans l'espace les personnes dont ils détiennent le numéro de téléphone, notamment dans le but d'adapter leur offre aux déplacements de leurs clients. Mais ils sont également susceptibles de communiquer ces données à des tiers, commerçants par exemple, qui pourront eux aussi ajuster leur activité au profil des personnes passant à proximité de leur boutique. Pour pallier les problèmes des données 'personnelles', celles-ci sont préalablement anonymisées, mais cette localisation empiète tout de même sur le domaine privé des personnes, car même si l'anonymisation est une garantie du droit au respect de la vie privée, elle n'est pas, selon les experts, une technique très fiable, et l'on peut facilement retrouver l'identité d'une personne par des recoupements de données.

La protection de la vie privée est un enjeu majeur car le droit à la vie privée est un droit fondamental reconnu par les textes nationaux et internationaux.

Statut Juridique des données

Plus largement que la simple question du respect de la vie privée, se pose la question de la gouvernance des informations collectées et des données : qui en est propriétaire, et quel est le statut juridique de ces dernières ?

Les données personnelles caractérisent une personne.

Elles sont en outre détenues par des personnes morales (opérateurs de télécommunications, services publics sociaux, hôpitaux...).

Mais la question du propriétaire juridique de cette dernière n'est pas tranchée. En effet, la ville intelligente étant bâtie sur une multitude de données, il est difficile de déterminer qui en est le propriétaire de chaque d'entre elles, Pourtant leur identification permettrait de cadrer l'utilisation des informations collectées et leur éventuelle réutilisation. Si l'on identifie le propriétaire d'une donnée, lui seul pourra par la suite, sans contestation possible, utiliser cette donnée comme bon lui semble.

Point d'attention :

Le Conseil d'État, dans son rapport sur le numérique et les droits fondamentaux, a pris position pour ne pas reconnaître un droit de propriété sur ces données. Il prône la reconnaissance d'autres droits, tels qu'un droit de regard sur l'utilisation des données qui nous concernent.

La question de la responsabilité des données

La mise en place d'une ville intelligente, nous venons de le voir, soulève de nouveaux problèmes en lien au droit de la responsabilité.

Un des enjeux de la Smart City est de pouvoir agir en autonomie sur les biens et les matériels pour optimiser le fonctionnement du modèle de la ville : gestion des feux de circulation, dispositif urbain interconnecté, capteurs et bornes, systèmes informatiques d'aide à la décision, logiciels embarqués dans les véhicules, précision des positions GPS...

La question de la responsabilité en cas d'accident de la circulation routière par exemple se posera, notamment avec l'émergence des véhicules autonomes et intelligents pouvant se conduire seuls sans intervention du conducteur : De multiples intervenants seraient susceptibles de voir leur responsabilité engagée (autorité publique locale qui est chargée de réguler la circulation, société ayant fabriqué le système intelligent...).

Organisation administrative et données

La mise en relation des données collectées servant de base d'information à son fonctionnement, sont issues d'organisations régies de nombreux contrats publics. Aujourd'hui, ces services de fourniture de gaz, d'électricité, d'eau sont organisés de manière segmentée, grâce à la conclusion de diverses délégations de services publics.

Le passage à l'échelle de la ville intelligente et de l'architecture technique la soutenant, composée d'infrastructures fonctionnant sur une masse de données, sera amenée à confier à un seul et même opérateur un ensemble de tâches qui sont externalisées aujourd'hui : ces contrats globaux et d'ensemble ne seront pas forcément adaptés au droit contractuel public tel qu'il existe aujourd'hui, ainsi qu'au droit de la régulation des services publics et au droit de la concurrence.

L'impact du développement des systèmes intelligents des villes connectées reposent encore sur des concepts d'innovation, en partie en développement en partenariat avec des entreprises privées qui vont avoir besoin d'expérimenter et de tester des solutions. Par conséquent, les relations contractuelles vont devoir s'établir en deux temps : un premier contrat de commande du système et un second contrat de mise en place de ce système. Cela semble compliqué car l'entreprise qui aura conçu un système ne sera pas forcément celle qui sera retenue à l'issue de la phase de conception.

La problématique est la même pour les infrastructures linéaires faisant parties intégrantes des villes (ponts, routes, voies ferrés, tunnel ...) avec une relation contractuelle mouvante dans le temps entre le constructeur, le donneur d'ordre, le client, l'exploitant et enfin l'utilisateur.

Des enjeux politiques qui pèsent sur les données et la Smart City

Des considérations politiques doivent être envisagées dans le cadre du fonctionnement d'une Smart City et de l'utilisation de ses données :

Vivre dans un environnement de données interconnectées peut amener à s'interroger sur le contrôle permanent exercé sur notre personne, sur notre vie privée. Les institutions interconnectées de la ville possèdent des informations très

Gouvernance

Gouvernance des données

nombreuses sur nous et peuvent être perçues comme à l'origine d'atteintes à nos libertés individuelles.

Il est nécessaire de légiférer, d'encadrer le développement de ces nouveaux services, de ces nouvelles infrastructures mais cela prend du temps pour aligner les différents organismes autour des mêmes enjeux, ce qui a pour conséquence de ralentir le développement de la smart city.

Et il se pose également une question du niveau de pilotage nécessaire à mettre en œuvre, et par qui : Collectivités territoriales, Région, Municipalité, État ? Et par quels moyens : fond propre ? sous-traitance à des organismes privés ?

La gouvernance des données est l'ensemble des organisations, règles et processus mis en place pour encadrer les activités de collectes, de transformation et de diffusion des données. Il s'agit notamment de définir les droits de chaque acteur quant à l'utilisation de telles ou telles données.

(source <https://www.lemondedelenergie.com/smart-cities-gouvernance-donnees/2020/10/08/>)

Qu'elles soient publiques ou privées, les données ainsi générées constituent une précieuse source d'information sur le territoire. Certaines données peuvent s'avérer stratégiques pour la prise de décision, et par là-même pour la souveraineté territoriale. D'autres peuvent constituer une ressource pour le développement socio-économique du territoire par la création de nouveaux services.

À ce titre, la gestion des données relève d'une mission d'intérêt général, appelée « service public de la donnée » ou « régie locale de données ». Ces missions ont pour vocation de favoriser le partage et la réutilisation des données, en réunissant données publiques et privées au sein de « plateformes de données » territoriales, aussi appelés « entrepôts de données » ou « lacs de données » (DataLakes).

C'est par les croisements de données en provenance de différentes sources et l'utilisation de techniques d'analyse de données massives (big data) et d'intelligence artificielle qu'une valeur nouvelle peut être extraite de ces données. Avec en particulier la gestion de la qualité des données, dont les niveaux de qualité peuvent être très variables en fonction des sources, et doivent être évalués et documentés lors des processus d'intégration à l'écosystème Smart City.

Les retours d'expérience de tentatives de mise en place Smart City sur des villes aux organisations et structures déjà en place comme Paris ou Frankfort montrent la complexité d'amener une solution s'intégrant à l'existant. Il est alors nécessaire de clarifier les rôles et périmètres de chacun, notamment qui possède la donnée générée et qui accède à l'information.

Cette problématique de gouvernance des données est aujourd'hui exacerbée par la richesse des services à inventer qui dépend directement de la capacité à croiser des données de différentes origines : bâtiments, réseaux (électricité, gaz, eau, chaleur), objets connectés (IoT) incorporé au mobilier urbain, capteurs sociaux, etc.

Exemple de cas d'usage chez les gestionnaires de réseaux urbains :

Afin d'optimiser les coûts des travaux, les gestionnaires de réseaux urbains travaillent, par exemple, à la synchronisation de leurs opérations : réaliser une seule fois un trou dans la chaussée pour changer une conduite d'eau et ajouter un nouveau câble électrique. La mise en pratique de ce cas d'usage requiert un partage d'informations (intentions de travaux) et une collaboration entre des acteurs dont les intérêts peuvent diverger.

La problématique est de permettre de croiser des données brutes d'acteurs différents, et parfois concurrents, en protégeant l'accès et la propriété des données de chacun.

<p>Attachement et détachement des données</p>	<p>Afin de se conformer aux règles législatives et juridiques, le modèle de gouvernance des données Smart City est donc un enjeu majeur et un point clé. Cette gouvernance doit permettre de gérer la propriété des données et les droits d'accès, la responsabilité des acteurs, et ce de manière transparente.</p> <p>Ni autonomes ni immatérielles, les données reposent sur de multiples attachements hétérogènes à des personnes, des pratiques, des technologies, des institutions qui les produisent, les maintiennent, les mettent en circulation et les utilisent. Cette infrastructure informationnelle est indissociable de la donnée.</p> <p>De cet attachement de la donnée à des situations et des finalités particulières découle une forme d'agencement territorial spécifique associant une donnée, un « métier » et une représentation de l'espace.</p> <p>La mise en œuvre de la politique d'open data d'une métropole urbaine passe par des opérations de détachement des données de leur environnement initial pour envisager leur mise en circulation, afin d'une part de respecter la réglementation, et d'autre part pour les pouvoirs publics de conserver le contrôle en limitant les usages potentiels des données mise à disposition du public.</p> <p>À noter que ces données « détachées » peuvent par la suite faire l'objet de rattachement, notamment à de nouveaux utilisateurs, par exemple avec des techniques d'appariement.</p>
<p>Pilotage stratégique de la donnée locale</p>	<p>Pilotage stratégique de la donnée locale : Le rôle central des collectivités territoriales ... et le besoin d'implication des citoyens.</p> <p>Pour animer cette dynamique d'ouverture et de partage de données indispensable au développement des Smart Cities, les collectivités territoriales ont un rôle déterminant à jouer. Elles doivent inciter les différents acteurs de l'écosystème à la production et au partage de données, tout en respectant la vie privée des individus, et insuffler une dynamique permettant d'innover et d'inventer des services correspondant aux besoins des citoyens.</p> <p>De plus, dans ces projets de transformation numérique, les collectivités doivent veiller à garder la maîtrise des données générées face aux différents acteurs privés, notamment les géants du numérique. Dans tout accord avec un tiers, il est primordial d'étudier en amont chaque activité pour définir les données à considérer comme bien de retour. Par ailleurs, pour mettre en place certains services, les collectivités doivent parfois négocier l'utilisation de données dont elles ne sont pas propriétaires.</p> <p>- La ville de Paris a, par exemple, dû batailler fermement pour obtenir la récupération des données des opérateurs de mobilité privés (Uber, Waze, Lime, Bird, etc.) pour sa plateforme Connected Citizens.</p> <p>Ce conflit sur la gouvernance des données entre les acteurs privés et publics est aujourd'hui un frein, au cœur de nombreux débats sur le développement des villes intelligentes. Une gouvernance partagée est à définir, mettre en place et réguler.</p>
<p>Implication des citoyens</p>	<p>Sans l'implication des citoyens, la Smart City sera limitée à la sphère publique et aux acteurs commerciaux. Les citoyens doivent avoir confiance dans les informations et services fournis. Ils doivent être informés (voire formés) et avoir accès à l'information utile de manière aisée et en transparence. Les services offerts doivent avoir une valeur ajoutée pour les citoyens.</p>

4.5. Caractérisation des données Smart City

Thématiques des données

Les thématiques des données Smart City sont cohérentes avec les thématiques de la Smart City ; toutefois, elles peuvent préciser ces dernières. Les thématiques identifiées dans ce chapitre sont les suivantes :

- Environnementales et services environnementaux : pollution de l'air, pollution sonore, émission de GES...
- Énergétique : consommation d'énergies pour le chauffage / climatisation, pour les activités de production, potentiel solaire
- Eaux : consommation d'eau pour les activités domestiques et de production...
- Telecom : couverture 5G, débits numériques...
- Déchets et eaux usées : volume / poids de déchets, d'eaux usées,
- Transports : flux de transports (par mode)
- Services municipaux
- Santé publique : données de santé publique (épidémie, pandémie, ...)
- Sécurité civile : données de sécurité civiles (agressions, délits, ..)
- Tourisme : informations touristiques
- Foncier / Immobilier / Logement
- Éducation
- Services sociaux
- Économie et finances
- Communication, événementiel
- Données citoyens (crowd-sourcing)

À ces données s'ajoutent les métadonnées de gouvernance, y compris les métadonnées définissant les périmètres de gouvernance.

De plus, des données générales de modélisation du territoire (données géographiques, hydrographiques ou géologiques) sont également nécessaires.

Points durs

Architecture de l'écosystème Smart City

L'écosystème Smart City est basé sur un ou des système(s) d'information, qui couvre(nt) les 4 fonctions de base suivantes : la collecte, le stockage, l'analyse et le traitement et la diffusion de l'information.

Cet écosystème englobe une infrastructure de données et services Smart City qui gère les données de référence, les flux de données collectées correspondant aux diverses thématiques, les métadonnées relatives à ces données, le cycle de vie des données et notamment leur validation, la gouvernance des données, et qui gère les droits et contrôle d'accès et la diffusion en Open data.

Divers types d'architectures de système d'information et de technologies sont disponibles :

- Architecture client-serveur.
- Architecture de services web.
- Architecture pair à pair (peer to peer).

Utilisation des données

Pertinence / qualification (source PAS 183) : valeur de la donnée :

- opérationnelle pour réutilisation / fournir un service
- critique (notamment pour gestion d'incidents)
- analytique : contribution avec d'autres données pour développer des services ou systèmes
- stratégique : impact sur des objectifs stratégiques, décisions et projets.

Structuration des données

Les données structurées sont des données stockables dans les bases de données (structurée en enregistrement – en Record) et / ou dans des fichiers selon des formats d'encodage bien définis.

Les données semi-structurées (ou auto-descriptives) contiennent des tags ou autres marqueurs permettant leur compréhension. Des exemples typiques de

<p>Cycle de vie des données</p>	<p>formats semi-structurés sont XML, JSON ou GeoJSON. Également les bases de données NoSQL.</p> <p>À l'inverse, les données non structurées sont des données représentées ou stockées sans format prédéfini. Par exemple données textuelles, Cloud, ...</p> <p>7 étapes du cycle de vie des données (source PAS 183) :</p> <ul style="list-style-type: none"> • Création/acquisition, • Stockage, • Analyse / Validation, • Pertinence (insight), • Utilisation / réutilisation, • Archivage, • Destruction. <p>Une donnée doit avoir été validée et sa pertinence par rapport au cas d'usage caractérisée pour contribuer à son exploitation pour la Smart City. Dans le cas contraire, une donnée erronée ou trop imprécise peut conduire fournir un service inacceptable ou dégradé, ou prendre une mauvaise décision.</p>
<p>Stockage, Archivage, préservation des données</p>	<p>Les données peuvent être stockées dans des entrepôts de données, systèmes de fichiers distribués, lacs de données, ou dans le cloud,</p> <p>La préservation des données est une problématique délicate pour la Smart City, complexifiée par l'hétérogénéité des données et leurs volumes importants (Big Data) : périmètre de cette préservation, aspects règlementaires ... Cette préservation a toutefois un intérêt pour l'analyse a posteriori, le traitement des réclamations, notamment en cas de crise.</p>
<p>Approches pour l'intégration des données</p>	<p>Les 3 approches générales pour l'intégration des données sont :</p> <ul style="list-style-type: none"> • L'intégration selon un modèle unique : compte tenu de l'hétérogénéité des données Smart City, cette approche ne semble pas adaptée. • L'unification selon un modèle commun de données (par ex. CDE) : si cette approche est applicable aux domaines BIM, elle ne semble pas convenir aux autres types de données, données SIG ou IoT ou données crowd-sourcing. • La fédération des données, basée sur la définition de liens entre des données hétérogènes.
<p>Métadonnées (relatives aux données), dont métadonnées de gouvernance</p>	<p>Les métadonnées sont des données relatives à des ressources (dans le cadre de ce chapitre des données), permettant de répondre aux besoins de catalogages, découverte, analyse de l'adéquation au besoin d'une donnée ou d'un ensemble de données. Les métadonnées comprennent notamment des informations de provenance, contextuelles, relative à la qualité / incertitude (notamment l'actualité / date et instant d'acquisition),</p> <p>Divers standards de métadonnées sont disponibles : Dublin Core (du Dublin Core™ Metadata Initiative, cf. https://dublincore.org/), PROV (du W3C, cf. https://www.w3.org/TR/prov-overview/), et ISO 19115 Information géographique - Métadonnées applicable à l'information géographique / géospatiale.</p> <p>Ces métadonnées doivent inclure les métadonnées de gouvernance.</p>
<p>Interopérabilité, standardisation</p>	<p>Il existe plusieurs définitions de l'interopérabilité ; dans notre contexte, la suivante de l'IEEE [Standard Computer Dictionary - A Compilation of IEEE Standard Computer Glossaries, 1990] « la capacité de deux ou plusieurs systèmes ou éléments à échanger des informations et d'utiliser l'information qui a été échangée » est retenue.</p> <p>Dans le cadre de l'usage des données, l'interopérabilité concerne la création, l'interprétation, le traitement, l'utilisation, le transfert et l'échange de données (cf. ISO/IEC 20944-1:2013), de manière indépendante d'une plateforme et d'un outil logiciel (voire de sa version).</p>

<p>Harmonisation sémantique</p>	<p>Cette interopérabilité est basée sur l'utilisation de normes et standards ouverts adaptés à chaque type de données, ceci afin de conserver un niveau de performance du système d'information adapté aux besoins et contraintes d'utilisation, ainsi que la définition d'interfaces d'accès et de gestion des données standardisées.</p> <p>Compte tenu de la transversalité des besoins Smart City et de l'hétérogénéité des domaines et types de données, la sémantique des données peut varier d'un domaine à un autre, et une harmonisation sémantique est nécessaire. Les technologies du Linked Data ou web sémantique sont disponibles, telles que :</p> <ul style="list-style-type: none"> • Resource Description Framework (RDF) : RDF est un langage exprimant des modèles de données sous forme d'objets (« ressources ») et de leurs relations. Un modèle basé sur RDF peut être représenté à travers plusieurs syntaxes d'échanges, par exemple, RDF/XML, Turtle... • Web Ontology Language (OWL) : OWL ajoute des mécanismes pour décrire les propriétés et les classes : comme avec les relations entre les classes, la cardinalité (par exemple « exactement un »), l'égalité, le typage des propriétés, les caractéristiques de propriétés (par exemple la symétrie), etc.
<p>Géoréférencement</p>	<p>Le géoréférencement est l'action « de rattacher » un relevé topographique dans un système de coordonnées connu. Le géoréférencement a pour objectif d'attribuer des coordonnées à tout objet d'un projet dans un repère lié à la Terre. Source Guide de géoréférencement de projets BIM - buildingSmart France - Mediaconstruct – 2020, cf. https://buildingsmartfrance-mediaconstruct.fr/2020/04/28/le-guide-pour-georeferencer-vos-projets-bim/</p> <p>Ce géoréférencement s'applique également à toute donnée de capteur, dont la localisation est nécessaire pour pouvoir être exploitée pour un usage Smart City.</p> <p>Pour des données hétérogènes qui ne sont pas toujours nativement localisées, ou localisées dans un référentiel cartésien local ne tenant pas compte des déformations liées à la courbure de la Terre, ou du référentiel altimétrique (par rapport au géoïde, au niveau moyen des mers, ou à l'ellipsoïde - p.e. WGS 84), il est important d'harmoniser le géoréférencement et dans tous les cas de documenter les référentiels planimétriques et altimétriques. En France métropolitaine, le référentiel planimétrique légal est Lambert 93 et le référentiel altimétrique est NGF-IGN 69 (cf. Guide de Géoréférencement pour plus d'information, et http://geodesie.ign.fr pour information complémentaire).</p>
<p>Volumétrie des données</p>	<p>À l'échelle d'une ville ou métropole, le volume des données Smart City, y compris les flux de données de capteurs notamment IoT, est considérable (Big Data) et peut saturer les capacités des outils informatiques pour un cas d'usage donnée. Si pour un projet BIM, le niveau de détail exigé pour la conception et la construction d'une maquette "AsBuilt" est le plus élevé, un tel niveau de détail (pouvant inclure les clenches de portes ou tuyaux à l'intérieur d'un appartement) n'est pas envisageable à l'échelle de la ville (ni nécessaire à la plupart – si ce n'est la totalité - des cas d'usage Smart City).</p> <p>Pour la plupart des besoins Smart Cities, la volumétrie des données nécessaires (par ex. pour la simulation du niveau de bruit et de l'impact d'un ouvrage anti-bruit) sera adaptée par le choix du niveau de détail / d'échelle correspondant au besoin.</p>
<p>Intelligence artificielle et Smart City data</p>	<p>On notera que l'usage de l'Intelligence Artificielle (IA) se répand également pour les cas d'usages Smart City, avec des modèles prédictifs reposant sur les données Smart City / Big data.</p> <p>On notera par exemple le programme de R&D AI4GEO du Consortium Airbus, CNES et CLS.</p>
<p>Facteurs limitant</p>	<p>Silos de compétences, de données...</p>

Critères de caractérisation des données	
Thématique	Thématique des données, cf. ci-dessus.
Temporalité	Données statiques / dynamiques / temps réel
Géométrie associée	Géométrie ponctuelle, linéaire, surfacique, volumique
Structuration	Type de structuration / format
Standardisation	Référence de la norme ISO, bSI, OGC, CEN, AFNOR ou W3C applicable, et si nécessaire de (ou des) version(s) actuellement recommandées.
Sémantique	Référence du dictionnaire sémantique, ou de l'ontologie applicable.
Niveau d'interopérabilité (maturité des standards)	<p>Par rapport au Référentiel général d'interopérabilité de la DINSIC, les niveaux d'interopérabilité dans ce document sont les niveaux technique (à savoir formats standards d'échange ou de stockage, protocoles d'échange et syntaxe) et sémantique (signification des données, concepts métiers).</p> <p>La maturité d'un standard est son statut par rapport à la facilité de sa mise en œuvre dans les systèmes (en d'autres termes dans le cycle de vie de standards) : émergent (en général récent et non largement supporté), opérationnel (largement supporté et recommandé par des autorités de gouvernance telles que la DINSIC), en fin de vie (largement mis en œuvre, mais obsolète, avec standard émergent comme remplacement potentiel), retiré (par l'autorité maintenant le standard). Ce niveau de maturité intègre donc les aspects techniques (adoption du standard avec implémentations de référence et outils de tests de conformité) et technologiques (notamment support par les outils logiciels sur le marché) du standard, ainsi que les aspects organisationnels (autorités de maintenance et de recommandations nationales – par ex. DINSIC – ou européennes).</p>
Provenance / sources	Si applicable, mention de la (ou des) provenance(s) de référence des données, ou du fournisseur de référence.
Restrictions d'accès	Open data, accès réservé, confidentialité, droits (copyright).
Volumétrie	Ordre de grandeur du volume d'une donnée en Ko, Mo, Go (selon le format standard le plus représentatif)
Métadonnées	Identification du (des) standard(s) ou profils de métadonnées applicables, néant sinon.

4.6. État des données géospatiales / SIG et BIM

Cette section fournit une identification et présentation succincte des données utilisables pour les divers cas d'usages et thématiques de la Smart City. Ces données sont présentées selon deux domaines d'usages : le géospatial / SIG et le BIM.

La section de synthèse fournira un tableau de caractérisation de ces données selon les informations présentées précédemment.

Géospatial / SIG	
Données open data de référence	<p>À ce jour, cinq jeux de données (pertinentes par rapport aux besoins Smart City) ont été identifiés comme des données de référence par le Service Public de la Donnée :</p> <ul style="list-style-type: none"> • Base Adresse Nationale (BAN) • Code Officiel Géographique (COG)

<p>Référentiel géographique français (MEN/MERI)</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Plan Cadastral Informatisé (PCI), diffusé trimestriellement par la DGFIP (Direction Générale des Finances Publiques). • Registre parcellaire graphique (RPG) : contours des parcelles et îlots culturels et leur groupe de cultures majoritaire. Les informations relatives au RPG sont présentées dans la section « Données de référence ouvertes IGN » ci-dessous. • Référentiel à grande échelle (RGE) – fourni par l'IGN (cf. https://geoservices.ign.fr/) : le RGE est constitué des composantes orthophotographique, topographique et adresse, parcellaire et altimétrique. Ces composantes sont présentées dans la section « Données de référence ouvertes IGN » ci-dessous. <p>Cf. https://www.data.gouv.fr/fr/pages/spd/reference/</p> <p>Communes, unités urbaines, aires urbaines, départements, académies, régions (formats CSV, JSON), avec localisation ponctuelle (au barycentre) https://www.data.gouv.fr/fr/datasets/referentiel-geographique-francais-communes-unites-urbaines-aires-urbaines-departements-academies-regions-1/</p>
<p>Découpage administratif communal français (issu d'OpenStreetMap)</p>	<p>Découpage administratif français au niveau communal (contours des communes) issu d'OpenStreetMap et produit dans sa grande majorité à partir du cadastre, issu du crowdsourcing (contributeurs au projet OpenStreetMap).</p> <p>Fourni au format Shapefile (ou GeoJSON), selon le référentiel WGS84 avec plusieurs niveaux de détails : simplification à 5m, à 50m ou à 100m.</p> <p>https://www.data.gouv.fr/fr/datasets/decoupage-administratif-communal-francais-issu-d-openstreetmap/</p>
<p>Admin Express</p>	<p>Découpage administratif du territoire métropolitain et ultra-marin (données de référence) produit par l'IGN. Cf. Données de référence ouvertes IGN ci-dessous pour plus d'information.</p> <p>https://www.data.gouv.fr/fr/datasets/admin-express/</p> <p>https://geoservices.ign.fr/adminexpress</p>
<p>Données open data logement, développement durable et énergie</p>	<p>Le diagnostic de performance énergétique (DPE) renseigne sur la performance énergétique d'un logement ou d'un bâtiment, en évaluant sa consommation d'énergie et son impact en termes d'émissions de gaz à effet de serre.</p> <p>https://www.data.gouv.fr/fr/datasets/diagnostics-de-performance-energetique-pour-les-logements-par-habitation/</p> <p>Données de Valeurs Foncières grâce à DVF-Expert de Géofoncier (txt tabulé) : Le jeu de données « Demandes de valeurs foncières », publié et produit par la direction générale des finances publiques, permet de connaître les transactions immobilières (mutations à titre onéreux (vente, échange, expropriation ou adjudication) intervenues au cours des cinq dernières années sur le territoire métropolitain et les DOM-TOM, à l'exception de l'Alsace, de la Moselle et de Mayotte. Les données contenues sont issues des actes notariés et des informations cadastrales.</p> <p>https://www.data.gouv.fr/fr/datasets/demandes-de-valeurs-foncieres/</p>
<p>Données de référence ouvertes IGN</p>	<p>L'IGN fournit les données de référence suivantes (libres) sur le territoire en téléchargement sur :</p> <p>https://geoservices.ign.fr/telechargement</p> <p>Ces données sont également accessibles sur le géoportail national, https://www.geoportail.gouv.fr/.</p>

Fonds de carte PLAN IGN : fonds cartographique complet (cartes numériques raster au format image) pensé entièrement pour un usage écran. Il est constitué de 19 niveaux de zoom qui cartographient avec précision et lisibilité la France de l'échelle monde au 1 : 1000 environ tout en proposant un contenu cartographique riche à grande échelle, notamment en zone urbaine. Disponibilités :

- France Métropolitaine échelles 8 à 12
- par département échelles 12 à 19.

<https://geoservices.ign.fr/planign>

Orthoimages : BD ORTHO® 50cm ou ORTHO HR® 20cm : collection de mosaïques numériques d'orthoimages en couleurs, rectifiées dans la projection légale spécifique adaptée au territoire couvert en résolution 20cm ou à défaut 50cm (si non disponible en 20cm). Produits disponibles sur un département selon dalles :

- 1 km x 1 km : JPEG 2000 sans perte
- 5km x 5km : JPEG 2000 optimisé (visuellement sans perte)

<https://geoservices.ign.fr/bdortho>

Modèles numériques de terrain 2D1/2 : RGE ALTI® : Le modèle numérique de terrain (MNT) maillé qui décrit le relief du territoire français à grande échelle (grille au pas de 1m).

Note : Egalement disponible au pas de 1m.

<https://geoservices.ign.fr/rgealti>

Les bases de données au format vectoriel (Shapefile) :

- ADMIN-EXPRESS : Ce produit contient les couches de données suivantes :
 - Région
 - Département
 - Arrondissement_départemental
 - EPCI (Établissement Public de Coopération Intercommunale)
 - Commune
 - Chef_lieu

Les géométries sont issues de la BD Carto IGN et sont fournies au format Shapefile.

<https://geoservices.ign.fr/adminexpress>

- ADRESSE PREMIUM : base de données qui permet de lier l'adresse à son environnement comportant quatre composantes :
 - Le lien Adresse - Parcelle permet de rattacher une adresse à une parcelle cadastrale (PCI) ;
 - Le lien Adresse - Bâti (BD Topo) permet de rattacher à une adresse un bâtiment et intègre les principaux attributs des bâtiments (surface, hauteur, nature...).
 - Le lien Bâti-Parcelle permet de rattacher un ou plusieurs bâtiments à une parcelle (PCI).
 - Le lien Adresse - IRIS permet de lier les identifiants des adresses de l'IGN et ceux des IRIS de l'INSEE.

Note : les liens Adresse – Bâti et Bâti-Parcelle ne sont calculés que pour les communes couvertes en PCI vecteur.

Adresse Premium est calculé chaque trimestre, peu après la mise à disposition de la BD TOPO®.

- BD CARTO® : base cartographique vectorielle homogène des différents éléments du paysage avec une précision décimétrique (50K à 200K), avec une organisation thématique selon les thèmes suivants :
 - Administratif (unités administratives)
 - Équipement
 - Habillage (occupation du sol)
 - Hydrographie
 - Réseau Ferré
 - Réseau Routier
 - Toponymes
- BD TOPO® : base cartographique vectorielle avec les thèmes suivants :
 - Réseau routier
 - Voies ferrées et autres
 - Transport énergie (réseaux)
 - Hydrographie
 - Bâti
 - Végétation
 - Orographie (géomorphologie)
 - Administratif
 - Zone activité
 - Toponymes

OCS GE (Occupation des sols Grande Échelle) : base de données de référence pour la description de l'occupation du sol de l'ensemble du territoire métropolitain et des départements et régions d'outre-mer (DROM), produite à partir de données existantes extraites des bases de données de l'IGN, et de toutes autres données mobilisables issues de référentiels nationaux ou locaux. OCS GE est utilisable aux différents échelons territoriaux pour la mise en place des politiques d'aménagement du territoire et des documents d'urbanisme.

RPG (Registre Parcellaire Graphique) : base de données géographiques permettant l'identification des parcelles agricoles et de leur groupe de cultures majoritaire, gérée par l'ASP (Agence de Service et de Paiement) et servant de référence à l'instruction des aides de la politique agricole commune (PAC). Les données diffusées subissent une anonymisation.

Parcellaire cadastral : Parcellaire Express (PCI) actualisé, basé sur le Plan Cadastral Informatisé la DGFIP (Direction Générale des Finances Publiques). base de données bidimensionnelle contenant les informations relatives au parcellaire cadastral, constituée d'objets géographiques simples (objets vecteurs ponctuels, surfaciques ou multi-surfaciques).

La nomenclature des objets vectoriels est la suivante :

- ARRONDISSEMENT : Arrondissement municipal (présent uniquement pour Paris, Lyon et Marseille)
- BATIMENT : Bâtiment
- BORNE_LIMITE_PROPRIETE : Borne de limite de propriété
- COMMUNE : Commune
- FEUILLE : Feuille, planche ou division cadastrale
- LOCALISANT : Localisant parcellaire
- PARCELLE : Parcelle
- SUBDIVISION_FISCALE : Subdivision fiscale

Note : Auparavant, la BD Parcellaire® Vecteur (figée depuis fin 2018) et sa version raster BD Parcellaire® Image.

Données géologiques et de zones à risques BRGM

Plan Corps de Rue Simplifié (PCRS) ou Référentiel très grande échelle : un fond de plan de haute précision destiné à servir de support topographique échangeable et mutualisable pour satisfaire à la législation en vigueur, à savoir l'arrêté du 15 février 2012 en application du décret DT-DICT. Il a pour objectif de devenir le socle cartographique entre les gestionnaires de réseaux pour fiabiliser le repérage des réseaux enterrés sur le terrain par les entreprises travaux aussi bien en zone urbaine dense qu'en zone rurale, avec un niveau de précision de l'ordre de 10 cm.

Le PCRS est un socle commun qui est composé par des données « vecteur » et « raster ». Sur un territoire donné, le PCRS peut être constitué à dominante Vecteur ou Raster, Le composant Raster est composé le plus souvent d'orthophotoplan et a minima de composants vecteurs : noms et numéros de voies ainsi que les affleurants. Les données vectorielles (lignes, points et surfaces) sont définies en x, y (planimétrie), et si possible en z (altimétrie).

La représentation en fond de plan des données cartographiées du PCRS est idéalement utilisée pour des échelles au 1/200ème ou au 1/500ème.

La spécification PCRS a été développée sous mandat CNIG par le CEREMA et l'IGN, et est disponible sur le site CNIG : http://cnig.gouv.fr/wp-content/uploads/2019/02/CNIG_RTGE_PCRS_v2.0_r1.pdf

Ce référentiel est disponible en fonction de son avancement sur les territoires des diverses régions / départements. Fruit d'un travail partenarial propre à chaque département les modalités d'accès peuvent différer d'un territoire à l'autre. Pour la région Auvergne-Rhône-Alpes (parmi les régions pilotes en France), cf. <https://www.craig.fr/fr/type-de-donnee/17269-pcrs>

À noter que l'accès aux données est soumis à conditions. Le produit PCRS est disponible en flux là où les accords de diffusion en open data le permettent.

A noter également : le CNIG a également développé une spécification de standard de Réseaux, avec le Géostandard de réseaux StaR-DT, actuellement en version 1.0 (et qui doit être révisée en version 2 – travaux en cours).

Le BRGM fournit les données géologiques de référence et les zones à risques sur le territoire sur le géoportail GéoRisques (cf. <https://www.georisques.gouv.fr/>) avec notamment :

- Zones d'inondations
- Zones de séismes
- Mouvements de terrain
- Feux de forêt
- Cavités souterraines
- Zones de retrait / gonflement des argiles.

Les zones à risques naturels (inondation et sismicité) sont également accessibles sur le géoportail national, <https://www.geoportail.gouv.fr/>.

Données thématiques INSPIRE

La directive INSPIRE (INfrastructure for SPatial InfoRmation in the European community) est la directive 2007/2/CE du Parlement européen établissant une infrastructure d'information géographique et environnementale dans la Communauté européenne. Cette infrastructure est basée sur des données spatiales thématiques (34 thèmes), et des services (catalogage, visualisation et téléchargement) permettant de constituer un géoportail européen INSPIRE. Les États doivent fournir les données disponibles selon des règles de mise en œuvre communes, ainsi que les métadonnées correspondantes (qui doivent être fournies gratuitement). Le géoportail INSPIRE (<https://inspire-geoportail.ec.europa.eu/>) fournit pour chaque thèmes l'ensemble des jeux de données documentées par leurs métadonnées, et parmi celles-ci ceux qui sont

visualisables par un service de consultation en visualisation et ceux qui sont téléchargeables.

Parmi les 34 thèmes de données, les thèmes suivants apparaissent comme pertinents pour la Smart City :

- Unités Administratives (Administrative units), correspondant à Admin Express (IGN)
- Adresses, correspondant à Adresse Premium (IGN)
- Parcelles cadastrales (Cadastral parcels), correspondant au Parcellaire Express (IGN)
- Couverture du Sol (Land Cover) : correspondant à la couche Habillage de la BD Carto (IGN)
- Usage du Territoire (Land Use)
- Géologie (Geology)
- Altimétrie (Elevation) : correspondant au RGE Alti (IGN)
- Hydrographie (Hydrography) : correspondant à la couche Hydrographie de la BD Topo (IGN)
- Santé et Sécurité Publique (Human Health and Safety)
- Démographie (Population Distribution and demography)
- Réseaux d'utilité et services gouvernementaux (Utility and Governmental services) : correspondant (pour partie) au thème Transport Energie de la BD Topo (IGN)
- Bâtiments (Buildings - BU) : correspondant au thème Bati de la BD Topo (IGN)
- Réseaux de transport (TN) : correspondant aux thèmes Réseau routier et Voies ferrées de la BD Topo (IGN)
- Zone à risques naturels (Natural risk zones).

Pour les données vectorielles, les téléchargements sont en GML ou en Shapefile.

Note : ces thèmes ne sont pas repris dans le tableau d'analyse, puisque les données INSPIRE ne sont qu'une reprise / transposition des données existantes au niveau national. Les modèles de données s'appuient sur les standards ISO TC211 et OGC (dont GML) et ses schémas d'application.

Modèle 3D urbain / bâti

Pour développer le jumeau numérique des cités / métropoles, afin de modéliser l'environnement urbain et faciliter les prises de décision (notamment urbanisme) certaines métropoles se dotent de maquettes urbaines 3D, le plus fréquemment enrichies d'une texturation (pour améliorer le réalisme) et plus ou moins sémantisées. On notera par exemple le Grand Lyon (<https://data.grandlyon.com/jeux-de-donnees/maquettes-3d-texturees-2018-communes-metropole-lyon>), Rennes Métropole (Rennes en 3D, cf. <https://rennes2030.fr/rennes-en-3d/>).

Le CNIG a tenté de réunir les acteurs nationaux pour définir une spécification de référentiel national 3D, avec un groupe de pilotage IGN et CSTB. Après une première phase d'échange et de recueil de besoin (jusqu'à l'automne 2018), ces travaux n'ont pas eu de suite à ce jour.

Note : Un premier niveau de solution pour produire rapidement une maquette 3D (relativement fruste et aboutissant à des modèles de bâtiments à toits plats et l'extrusion des modèles 2D tels que contenus dans la BD Topo, avec l'information de hauteur de bâtiment – sous réserve que cette information soit présente et correcte. Ceci peut permettre d'aboutir à des maquettes urbaines en CityGML LOD1, qui bien évidemment ne répondent que très partiellement aux besoins relatifs aux maquettes urbaines 3D. Parmi les carences évidentes, l'absence de forme de toits, d'ouvertures (portes et fenêtres), de passages dans les ensembles de bâtiments...

<p>Données d'urbanisme</p>	<p>À titre d'exemple :</p> <ul style="list-style-type: none"> • l'Allemagne, avec le SIG3D (https://www.sig3d.org/) qui promeut l'usage de CityGML et de ses usages pour l'énergie (avec Energy ADE) et pour la pollution sonore (Noise ADE), avec production de villes majeures telles que Berlin, Munich, Hannover, Hambourg). • les Pays-Bas, avec une spécification d'un profil national CityGML avec le standard IMGeo (CityGML ADE – Application Domain Extension) et une dizaine de cités produites. A ce jour, une exploitation en CityJSON (avec un encodage JSON adapté aux plateformes web) est mise en place. • le Japon, avec un profil CityGML ADE for i-Urban Revitalization pour la revitalisation des zones urbanisées au Japon, et avec le projet PLATEAU du ministère du Territoire, des Infrastructures, des Transports et du Tourisme (MLIT), dans lequel des modèles de ville sémantique 3D sont produits pour 56 villes du Japon selon cette ADE CityGML (cf. https://www.mlit.go.jp/plateau/). Ce projet s'intègre dans la vision « Société intelligente » Society 5.0 promue par le Cabinet Office interministériel du Japon (cf. https://www8.cao.go.jp/cstp/english/society5_0/). Society 5.0 est définie comme "Une société centrée sur l'humain qui équilibre le progrès économique avec la résolution des problèmes sociaux par un système qui intègre fortement le cyberspace et l'espace physique.", et intègre la composante Smart City. <p>Géoportail de l'urbanisme fournissant les documents d'urbanisme relatifs à une parcelle ou zone https://www.geoportail-urbanisme.gouv.fr/</p>
-----------------------------------	--

<p>BIM</p> <p>Modèle produit industriel</p> <p>Maquette numérique</p> <p>Fichier de collaboration</p>	<p>Les données BIM sont des données propriété des maîtrises d'ouvrage, et ne sont pas disponibles comme données ouvertes.</p> <p>On retrouve dans un premier temps, les modèles industriels au format STEP.</p> <p>Le STEP (Standard for the Exchange of Product model data) ou ISO 10303 représente le standard pour l'échange de données des produits industriels. Il s'agit d'un format neutre pour décrire les informations d'un produit tout au long de son cycle de vie et s'appuyant sur un ensemble de formalismes préétablis. Le STEP a pour objectif de permettre la communication entre divers logiciels de manière ouverte, interprétable par tout système informatique et indépendante du système ayant généré les données.</p> <p>Les maquettes numériques des projets de construction occupent également une place importante pour le recensement des données Smart City.</p> <p>Les maquettes BIM sont des représentations géométriques regroupant un ensemble de données et d'objets interconnectés. Selon le logiciel employé, le format de ce fichier (son « extension ») est variable. Un format normalisé, l'IFC ou ISO 16739, sert de modèle et format commun permettant d'assurer l'interopérabilité entre les logiciels de maquette numérique, dans le but de maintenir l'intégrité des informations lors des échanges entre les intervenants. L'IFC utilise les mêmes principes que le STEP et réexploite certaines IR (Integrated Resources) de base.</p> <p>Les fichiers de collaboration au format BCF (BIM Collaboration Format) ont été introduits suite à l'idée de séparer la communication des messages décrivant les problèmes découverts sur la maquette numérique, de la maquette elle-même.</p> <p>Le BCF est un format d'échanges qui permet au travers d'un fichier léger, d'enregistrer et transmettre un fil de commentaires entre acteurs d'une équipe, autour d'un sujet principal et d'un (ou plusieurs) objet précis dans une maquette numérique. Ce fichier</p>
---	---

Données projet infrastructures

permet de retenir l'emplacement et le point de vue où a pris naissance la discussion, et d'embarquer éventuellement des images (photos, vues du modèle).

Ce format de fichier est basé sur XML et transporte également une série de métadonnées qui permet d'assurer la gestion et le suivi du sujet (type d'observation, degré de priorité, nom de l'auteur, date de création ou de modification du sujet, etc.) et de toutes les observations qui viennent enrichir le sujet au fil de l'eau (nom de l'auteur de l'observation, date, etc.).

Autre donnée possiblement accessible est la donnée des projets d'infrastructures au format LandXML. Il s'agit d'un format d'échange de données basé sur le XML. Il est utilisé en génie civil et géomatique afin de transmettre les données telles que :

- les surfaces terrain et projet,
- les axes de projets linéaires et profils en long,
- les réseaux d'assainissement.

Un schéma landxml-1.2.xsd est disponible sous <http://www.landxml.org/schema/LandXML-1.2/LandXML-1.2.xsd>.

La majorité des logiciels d'infrastructures supportent l'import/export de ce format.

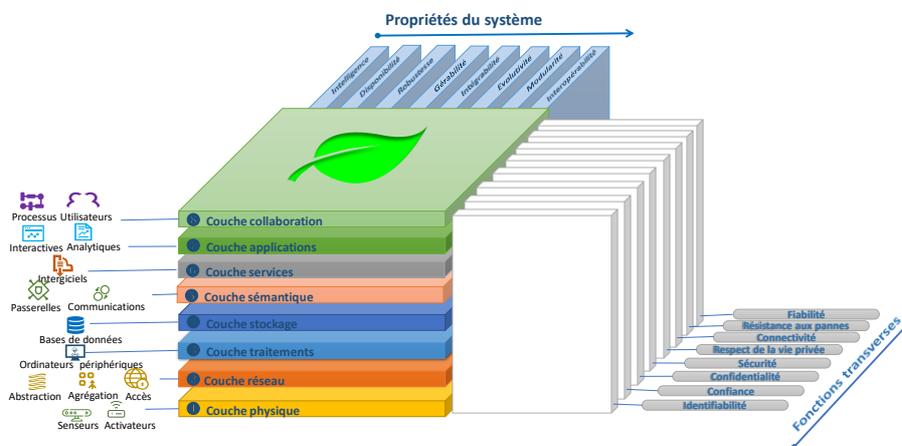
4.7. État des données IOT

Cette section fournit une identification et caractérisation des données IOT pour les divers cas d'usages et thématiques de la Smart City. Le chapitre suivant présente par ailleurs l'état de l'art des technologies IOT.

Pile de référence de l'IoT pour la Smart City

Le **SINTEF** et la **Direction générale des réseaux de communication, du contenu et des technologies (CNECT) de l'Union Européenne** ont proposé un modèle d'interopérabilité pour la Smart city qui prend à la fois mieux en compte les politiques de l'Union Européenne en matière environnementale, et les évolutions récentes ou prévisibles de l'IoT.

La pile est composée de couches verticales qui représentent l'architecture d'un système d'information destiné à opérer dans le cadre de la ville intelligente. Les autres dimensions représentent respectivement les fonctions transverses et les propriétés du système qui garantissent la cohérence de son comportement.



Les données circulent dans les applications de la Smart City, de bas en haut de la pile et de haut en bas, mais aussi pour réaliser les fonctions transverses, ou pour

Les données de la couche « sémantique »

rendre compte des propriétés du système et du fait que celui-ci a atteint et respecte les objectifs qui lui ont été fixés.

Il reste néanmoins très difficile de caractériser globalement ces données car il existe très peu de normes IOT spécifiques à la Smart City : les applications sont souvent produites pour un usage en relation avec des secteurs économiques donnés et l'on tend d'abord à leur appliquer les standards en usage dans le domaine que leurs interactions constituent.

La couche « sémantique » applique des règles simples qui permettent de transformer des événements et des données de bas niveau en événements et en données d'un niveau d'abstraction élevé, c'est-à-dire dotées d'une signification interprétable par des utilisateurs. Elle fournit des passerelles entre l'IoT et les applications d'entreprises traditionnelles (comme les ERP, par exemple). C'est à son niveau que le besoin de normes est ressenti de la manière la plus urgente.

Les principales normes applicables à ce niveau sont aujourd'hui les suivantes :

- OGC SensorThings,
- Web of Things.

OGC SensorThings

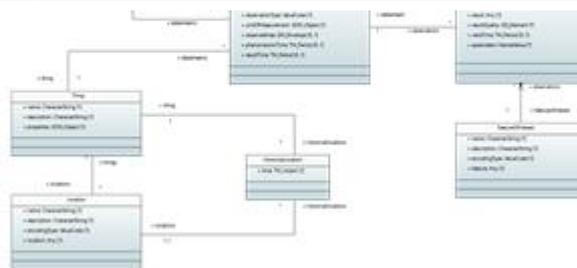
SensorThings API est un standard de l'**Open Geospatial Consortium** (OGC) qui définit un cadre ouvert et unifié pour interconnecter les appareils de détection IoT, les données et les applications sur le Web.

Le standard comprend deux modules :

- **OGC SensorThings Sensing** (détection), aujourd'hui en version 1.1 approuvée en novembre 2020 par l'**OGC**.
- **OGC SensorThings Tasking** (programmation) approuvée le 8 janvier 2019 par l'**OGC**.

Nom de la classe	Description
Thing	Un objet du monde physique (une chose physique) ou du domaine de l'information (un objet virtuel) qui peut être identifié et intégré dans des réseaux de communication
Location	Localise le Thing.
HistoricalLocation	Enregistre la localisation actuelle et les localisations précédentes d'un Thing.
Datastream	Une collection d'observations dans un flux de données qui mesurent la même propriété observée par le même capteur.
ObservedProperty	Spécifie le sujet observé.
Sensor	Un instrument qui observe une propriété ou un phénomène dans l'objectif d'estimer la valeur d'une propriété.
Observation	L'action qui consiste à mesurer ou à déterminer par une autre méthode la valeur d'une propriété.
FeatureOfInterest	La valeur d'un résultat associé à un phénomène.

Modèle de données de SensorThings API Sensing 1.0 (Version active)



et
rs

in
êt
la

Implémentations de référence

- [SensorUp SensorThings API v1.0](#) (Université de Calgary) qui fournit un SDK et un Dashboard – certifié.
- [FROST Server 1.12](#) (Fraunhofer Institute) - certifié. Frost a été utilisé dans les projets européens [beAWARE](#) et [Heracles](#) dans lesquels l'unité **IOSB** de **Fraunhofer Institute** était engagée.

Formats des URI d'accès à l'interface

Le format d'un **URI** d'accès à l'interface est le suivant :

http://example.org/v1.0/ Observations ?\$orderby=ID&\$top=1

URI d'accès au service

Chemin d'accès à

Paramètres de la requête

```
{
  "value": [
    { "name": "Things", "url": "http://example.org/v1.0/Things" },
    { "name": "Locations", "url": "http://example.org/v1.0/Locations" },
    { "name": "Datastreams", "url": "http://example.org/v1.0/Datastreams" },
    { "name": "Sensors", "url": "http://example.org/v1.0/Sensors" },
    { "name": "Observations", "url": "http://example.org/v1.0/Observations" },
    { "name": "ObservedProperties", "url": "http://example.org/v1.0/ObservedProperties" },
    { "name": "FeaturesOfInterest", "url": "http://example.org/v1.0/FeaturesOfInterest" }
  ]
}
```

Cet **URI** code un appel au service rend la liste des collections d'entités que le service gère et les url qui permettent d'accéder à chacune.

Autres fonctions de SensorThings API Sensing

SensorThings API Sensing définit une **API REST** qui s'appuie sur les commandes du protocole **HTTP (ou HTTPS)** pour échanger des données. Les commandes **STA "CREATE", "READ", "UPDATE", et "DELETE"** s'appuient sur les commandes équivalentes du protocole **HTTP : "POST", "GET", "PATCH", et "DELETE"** (ou leur équivalent dans d'autres protocoles).

Exemple de requête de lecture :

HTTP GET http://example.org/SensorThingsService/v1.0/Things(1)

Pour aller plus loin

Le **Pôle Inside** a mis en place sur le [Wiki](#) de l'un de ses projets **Github** des exemples qui permettent d'entrevoir concrètement quelques-unes des possibilités offertes par l'**API SensorThings**, et notamment la recherche spatiale :

[http://sensorthings.brgm-rec.fr/SensorThingsGroundWater/v1.0/FeaturesOfInterest?\\$filter=st_within\(feature,%20geography%27POLYGON%20\(\(3%202049,%20204%2049,%20204%2050,%20204%2050,%20203%2049\)\)%27](http://sensorthings.brgm-rec.fr/SensorThingsGroundWater/v1.0/FeaturesOfInterest?$filter=st_within(feature,%20geography%27POLYGON%20((3%202049,%20204%2049,%20204%2050,%20204%2050,%20203%2049))%27)

Exemple de données Pollution de l'air

Données « temps réel » de mesure des concentrations de polluants atmosphériques réglementés (données journalières). À noter que ces données ne sont pas conformes au standard Sensor Things.

<https://www.data.gouv.fr/fr/datasets/donnees-temps-reel-de-mesure-des-concentrations-de-polluants-atmospheriques-regleentes-1/> (XML)

Web of Things

Le **Web of Things** est une initiative du W3C dont l'objectif consiste à organiser la manière dont les objets connectés informent leurs correspondants à propos des interfaces de programmation d'application (API) et des informations qu'ils mettent à leur disposition. Elle se traduit par la publication de séries de recommandations qui visent à :

- Lutter contre la fragmentation de l'IoT en utilisant et en étendant les technologies Web standardisées existantes.
- Fournir des métadonnées standardisées et d'autres blocs de construction technologiques réutilisables,
- Permettre une intégration facile entre les plates-formes IoT et les domaines d'application.

Deux seulement de ces spécifications ont actuellement un caractère officiel et trois ont été offertes pour leur discussion publique.

Modèle de données Web of Things

TITRE DE LA SPÉCIFICATION

ETAT

• WEB OF THINGS ARCHITECTURE	Officielle
• WOT/TD WEB OF THINGS DESCRIPTION	Officielle
• WOT/BT WEB OF THINGS BINDING TEMPLATES	Prépublication
• WOT/SAPI WEB OF THINGS SCRIPTING API	Prépublication
• WOT/SPG WEB OF THINGS SECURITY AND PRIVACY GUIDELINES	Prépublication

WoT propose aux dispositifs de décrire leurs interfaces à l'aide d'une abstraction simple qui repose sur trois concepts.



Les **WoT/TD** (WoT Thing Description) sont des ensembles de métadonnées relatives à un dispositif qui servent de point d'entrée aux interactions avec celui (l'équivalent de « index.html » dans une application Web classique en quelque sorte).

Elles indiquent notamment :

- Les propriétés disponibles et leurs caractéristiques
- Les fonctions accessibles.
- Les protocoles utilisables.
- La manière dont les données sont structurées et codées.
- Les mécanismes de sécurité utilisés.

La **WoT/TD** d'un dispositif peut être fournie par le dispositif lui-même ou obtenue auprès d'un répertoire.

Les **WoT/TD** utilisent le format d'échange **JSON-LD** (**JSON-LD** est l'un des formats d'échange de la plateforme **Linked Data Platform** du **W3C**. Il est utilisé par un certain nombre d'application du Web sémantique).

Les **WoT Binding Templates** sont des descriptions qui associent les éléments d'une abstraction **WoT/TD** et les caractéristiques d'un protocole spécifique comme **MQTT**, **HTTP**, **CoAP** ou Modbus.

WoT Scripting API définit une API pour le langage **ECMAScript** (Javascript) qui calque la spécification **WoT/TD**. Elle décrit comment un programme d'application put agir avec une bibliothèque d'exécution.

4.8. Synthèse des données Smart City

Présentation des tableaux de synthèse données Géo et données BIM pour la Smart City

Les tableaux suivants caractérisent les données Smart Cities identifiées selon les critères de caractérisation indiqués en section 4.5.

Ces tableaux sont séparés selon leurs domaines, à savoir Géo et BIM.

Les données dynamiques d'observations IOT ne sont pas intégrées dans ces tableaux, car c'est l'information pertinente extraite de ces observations qui est gérée par la plateforme Smart City. Cette information est alors sous forme de données statistiques, de séries temporelles...

Ces tableaux sont fournis en annexe.

Données Géo

À noter : toutes les données Géo documentées dans ce tableau sont statiques ; ce critère n'est donc pas intégré dans le tableau.

Données BIM

À noter : toutes les données BIM documentées dans ce tableau sont statiques ; ce critère n'est donc pas intégré dans le tableau.

Éléments de conclusion et perspectives

Les données relatives aux villes intelligentes sont par nature multiples, hétérogènes, de criticité et d'intérêt varié, expansives mais restent difficiles d'accès aussi bien dans une perspective d'usage civique que commercial. Les marchés de la donnée ouverte et de la donnée valorisée restent à développer à l'échelle locale, régionale ou globale.

Parmi les obstacles à dépasser pour croître et produire de la valeur ajoutée, on peut mentionner :

- Une présence encore trop timide des données dynamiques. Les données géographiques (physiques ou humaines) dominent l'offre parce qu'elles sont portées par des institutions de niveau étatique ou fédérale s'inscrivant dans les traditions de la statistique descriptive, dont les résultats revêtent un caractère critique du point de vue de la gouvernance. Une grande partie de ces données sont néanmoins de nature statique et les pouvoirs locaux luttent à rattraper des retards résultant de la gestion de donnée administrative.
- Les données ouvertes mises à disposition du public ou des entreprises par de nombreuses organisations restent insuffisamment décrites et nécessitent souvent un niveau élevé d'expertise pour en permettre la réutilisation. La diffusion de bonnes pratiques et le développement d'outils permettant l'exploration de métadonnées mieux normalisées reste une nécessité. Les technologies issues du management des connaissances sont porteuses de résultats prometteurs, mais n'intègrent pas un certain nombre de pratiques pourtant nécessaires pour une industrialisation et une démocratisation de la donnée. La mise en œuvre de mécanismes d'interopérabilité des métadonnées telle que décrit dans les normes ISO/IEC 19763 – cf. Ci-dessous - permet de s'accoster à un cadre de métamodèle partagé (MFI – Metamodel framework for Interoperability). De nombreux projets produisent des descriptions ontologiques informatiques de haut niveau plus ou moins formelles, mais seules les évolutions d'un petit nombre d'entre elles sont gérées en configuration. Il est assez logique de pressentir que l'introduction de réglementations du type « dépôt légal » et l'instauration de droits symboliques d'utilisation serait de nature à alimenter la transparence du secteur.
- Le besoin de généralisation de la métadonnée, la capacité des dispositifs ou des calculateurs de périphérie à décrire, de manière autonome, les données qu'ils produisent est un facteur clé du développement des technologies de la ville intelligente.
- L'amélioration des lois et des réglementations relatives au caractère intime, privé ou public de la donnée constitue une nécessité pour l'amélioration des processus de la ville intelligente. Les tentatives de monitoring de la pandémie de Covid-2, ont mis en évidence l'impact que les incohérences entre processus

peuvent avoir sur la vision globale d'un sujet. Comme peut en témoigner par exemple le décalage entre le temps réel de capture et traitement des données de résultats de tests par les automates industriels et les semaines nécessaires pour comptabiliser et exposer ces mêmes résultats par les organisations référentes. Cette situation est révélatrice de la difficulté pour les détenteurs d'enjeux d'identifier les données pertinentes et critiques.

- Une utilisation efficace des données dans le cadre des villes intelligentes, et notamment dans la perspective du développement d'une économie durable et soucieuse d'atteindre des objectifs de politique environnementale, passe par une approche de la ville intelligente comme un système de systèmes eux-même décrit par des modèles que l'on peut combiner afin d'atteindre les objectifs de la gouvernance. Ceci passe nécessairement par une relative normalisation et une démocratisation des techniques de modélisation.

ISO/IEC 19763 / MFI

La série de normes ISO/IEC 19763 propose un cadre de métamodèle pour l'interopérabilité (MFI / Metamodel framework for interoperability), avec les parties suivantes :

- Part 1: Framework / Cadre général
- Part 3: Metamodel for ontology registration / Métamodèle pour l'enregistrement d'ontologies
- Part 5: Metamodel for process model registration / Métamodèle pour l'enregistrement de modèles de processus
- Part 6: Registry summary / résumé de registre (RS)
- Part 7: Metamodel for service model registration / Métamodèle pour l'enregistrement de modèles de services
- Part 8: Metamodel for role and goal model registration / Métamodèle pour l'enregistrement de modèles de rôles et objectifs
- Part 9: On demand model selection [Technical Report]
- Part 10: Core model and basic mapping / Noyau du modèle et mapping de base
- Part 12: Metamodel for information model registration / Métamodèle pour l'enregistrement de modèles d'information
- Part 13: Metamodel for form design registration / Métamodèle pour l'enregistrement de conception de formulaires.

Usage de mécanismes standardisés de registres (MFI) pour gérer des données et registres inter-domaines

Pour les cas d'utilisation pertinents, il est proposé d'évaluer l'intérêt d'utiliser le résumé du registre (RS) et les concepts de registre des registres (RoR) de MFI (ISO/IEC 19763-1:2015) pour le partage de modèles de données entre différents domaines dans les villes intelligentes, et de développer des meilleures pratiques pour les Smart Cities.

4.9. Bibliographie et références web

Données de référence
data.gouv.fr

<https://www.data.gouv.fr/fr/pages/spd/reference/>

EcoCité

<http://www.ecocites.logement.gouv.fr/>

http://www.ecocites.logement.gouv.fr/IMG/pdf/360_mte_livret_introductif_rvb_v1.pdf

Territoire intelligent :
Smart Cities et
Gouvernance

<https://www.lemondedelenergie.com/smart-cities-gouvernance-donnees/2020/10/08/>

Gouvernance des données	Cerema https://smart-city.cerema.fr/territoire-intelligent/la-donnee-au-coeur-la-smart-city
Interopérabilité	Référentiel Général d'Interopérabilité - Version 2.0 – décembre 2015 - Direction Interministérielle du Numérique et du Système d'Information et de Communication de l'Etat (DINSIC, cf. https://www.numerique.gouv.fr/uploads/Referentiel_General_Interoperabilite_V2.pdf)
Plateformes données	http://data.rennesmetropole.fr
SPMD, RUDI	SPMD, RUDI : https://rudi.datarennes.fr/deux-annees-damorçage-du-service-public-de-la-donnee-de-rennes-metropole/ https://www.uia-initiative.eu/fr/uia-cities/rennes-metropole
City information modelling and urban digital twins (Rapport CEI/IEC)	City information modelling and urban digital twins 1/12/2021 https://www.iec.ch/basecamp/city-information-modelling-and-urban-digital-twins
Smart City et citoyens	Rapport de la CNIL sur les Smart Cities
Open data et gouvernance urbaine	Quand la donnée arrive en ville - Open data et gouvernance urbaine – c– Libre Cours – PUG https://www.pug.fr/produit/1897/9782706147357/quand-la-donnee-arrive-en-ville
IGN Magazine Smart City – Printemps 2021	IGN Magazine N°102 - Smart City

4.10. Tableau de synthèse Données Smart Cities Géospatial / SIG

Données Smart City	Thématique	Géométrie associée (ponctuel, linéaire, surfacique, volumique)	Structuration (structuré, semi-structuré, non structuré)	Sémantique	Standards	Niveau d'interopérabilité (maturité)	Sources / provenance	Type d'accessibilité (Open data, portail, web, SI)	Restriction d'accès (Open data, restreinte, partagée)	Volumétrie (si applicable)	Métadonnées (interne / externe), modèle applicable	Commentaires
Référentiel géographique français, communes, unités urbaines, aires urbaines, départements, académies, régions (MERI)	Unités administratives	ponctuel	structuré	schéma CSV	CSV, JSON, GeoJSON	opérationnel	MERI https://www.data.gouv.fr/fr/datasets/referentiel-geographique-francais-communes-unites-urbaines-aires-urbaines-departements-academies-regions-1/	open data	licence-ouverte-open-licence Etalab	10,9 Mo (CSV) France entière	interne	
Découpage administratif communal français (OSM)	Unités administratives	surfacique	structuré	OSM + code INSEE des communes	OSM, Shapefile ou GeoJSON	opérationnel	crowdsourcing https://www.data.gouv.fr/fr/datasets/decoupage-administratif-communal-francais-issu-d-openstreetmap	crowd-sourcing	licence ODbL	220 Mo (Shp zippé)	interne	
Code Officiel Géographique (COG)	Unités administratives	NA	structuré	schéma CSV	CSV	opérationnel	https://www.data.gouv.fr/fr/datasets/code-officiel-geographique-cog/	open data	licence-ouverte-open-licence Etalab	de l'ordre de 100 Ko	interne	codes et libellés des communes, des cantons, des arrondissements, des départements, des régions et des pays et territoires étrangers
Admin Express (IGN) Cartographie administrative	Unités administratives	surfacique ou pontuel (pour chef lieu)	structuré	nomenclature Admin Express pour classes administratives	Shapefile	opérationnel	IGN https://geoservices.ign.fr/adminexpress	open data	licence-ouverte-open-licence Etalab	824 Mo (France métropolitaine) + 28,5 Mo (DROM)	externe XML, Thesaurus GEMET - INSPIRE themes, version 1.0	mise à jour mensuelle ou annuelle (COG)

Données Smart City	Thématique	Géométrie associée (ponctuel, linéaire, surfacique, volumique)	Structuration (structuré, semi-structuré, non structuré)	Sémantique	Standards	Niveau d'interopérabilité (maturité)	Sources / provenance	Type d'accessibilité (Open data, portail, web, SI)	Restriction d'accès (Open data, restreinte, partagée)	Volumétrie (si applicable)	Métadonnées (interne / externe), modèle applicable	Commentaires
BaseAdresse Nationale (BAN)	Adresses	ponctuel	structuré	schéma CSV	CSV, Addok + JSON (à venir)	opérationnel	https://www.data.gouv.fr/fr/datasets/base-adresse-nationale/	open data	licence-ouverte-open-licence Etalab	de 4ko à 12 Mo par zone	interne	25 millions d'adresses. Addok moteur de recherche pour les adresses, cf. https://addok.readthedocs.io/
Adresse Premium (IGN)	Adresses	linéaire + table attributaire	structuré	liens adresse - bati et adresse parcelle + lien bati-parcelle et adresse - IRIS (INSEE)	Shapefile + txt tabulé	opérationnel	IGN https://geoservices.ign.fr/adresse-premium	open data	licence-ouverte-open-licence Etalab	Département entre 43 et 750 Mo	externe XML, Thesaurus GEMET - INSPIRE themes, version 1.0 + métadonnées par commune	livraison par département Mise à jour trimestrielle (après mise à jour BD Topo)
Plan Cadastral Informatisé (PCI)	Cadastre	surfacique	structuré	Edigéo ou DXF-PCI	Edigéo ou DXF	opérationnel	DGFIP cadastre.data.gouv.fr	open data	licence-ouverte-open-licence Etalab	ordre 50 ko par feuille ordre 500Mo par dept	interne	par feuille ou par dept environ 600 000 feuilles ou planches Mise à jour trimestrielle
Parcellaire Express (PCI)	Cadastre	surfacique	structuré	nomenclature PCI	Shapefile	opérationnel	IGN https://geoservices.ign.fr/parcellaire-express-pci	open data	licence-ouverte-open-licence Etalab	ordre 600 Mo par département	externe XML, Thesaurus GEMET - INSPIRE themes, version 1.0	par département Mise à jour trimestrielle (suite à mise à jour DGFIP)

Données Smart City	Thématique	Géométrie associée (ponctuel, linéaire, surfacique, volumique)	Structuration (structuré, semi-structuré, non structuré)	Sémantique	Standards	Niveau d'interopérabilité (maturité)	Sources / provenance	Type d'accessibilité (Open data, portail, web, SI)	Restriction d'accès (Open data, restreinte, partagée)	Volumétrie (si applicable)	Métadonnées (interne / externe), modèle applicable	Commentaires
Registre parcellaire graphique (RPG)	Parcelles agricoles	surfacique	structuré	nomenclature RPG pour classes ilots et parcelles	Shapefile ou SQL ou Gpkg (depuis 2019)	opérationnel	IGN https://geoservices.ign.fr/rpg	open data	licence-ouverte-open-licence Etalab	6 Go (France entière) en Shp, 3,3 Go en SQL ou GPKG Environ 250 Mo par région (Shp)	externe XML, Thesaurus GEMET - INSPIRE themes, version 1.0	anonymisé France entière ou par région Mise à jour annuelle
Diagnosics de performance énergétique (DPE) pour les logements par habitation (ADEME)	Batiment/Logement		structuré	schéma CSV	CSV	opérationnel	https://www.data.gouv.fr/fr/datasets/diagnostics-de-performance-energetique-pour-les-logements-par-habitation/	open data	licence-ouverte-open-licence Etalab		interne	
Demandes de valeurs foncières (DVF)	Logement		structuré	tabulé	txt	opérationnel	DGFIP Base nationale des données patrimoniales (BNDP) https://www.data.gouv.fr/fr/datasets/demandes-de-valeurs-foncieres/	open data	licence-ouverte-open-licence Etalab	350 0 450 Mo (France entière)	interne	mise à jour annuelle Restriction d'usage : CGU applicables
Plan IGN (raster)	fonds carte raster	Non applicable	structuré		GeoTIFF/LZW	opérationnel	IGN BD carto sept. 2019 échelles 8 à 13 BD Topo déc. 2019 échelles 14 à 19 https://geoservices.ign.fr/planign	open data	licence-ouverte-open-licence Etalab	6 Mo (Plan IGN échelle 8, résolution 400m) à 1,4 To (Plan IGN échelle 19, résolution 0,25m)	externe XML, Thesaurus GEMET - INSPIRE themes, version 1.0	compression sans perte LZW
BD ORTHO® 50cm ou ORTHO HR® 20cm (orthoimage)	fonds orthoimage	Non applicable	structuré		Geo JPEG 2000	opérationnel	IGN BD ORTHO® 50cm ORTHO HR® 20cm https://geoservices.ign.fr/bdortho	open data	licence-ouverte-open-licence Etalab	Département à 50cm : ± 50 Go (standard) ou ±3.6 Go (optimisé), à 20cm : ± 260 Go (standard) ou ± 28 Go (optimisé)	externe XML, Thesaurus GEMET - INSPIRE thèmes, version 1.0	compression sans perte (standard) ou visuellement sans perte (optimisé) JPEG 2000 Mise à jour tous les 3 ou 4 ans

Données Smart City	Thématique	Géométrie associée (ponctuel, linéaire, surfacique, volumique)	Structuration (structuré, semi-structuré, non structuré)	Sémantique	Standards	Niveau d'interopérabilité (maturité)	Sources / provenance	Type d'accessibilité (Open data, portail, web, SI)	Restriction d'accès (Open data, restreinte, partagée)	Volumétrie (si applicable)	Métadonnées (interne / externe), modèle applicable	Commentaires
RGE ALTI® Modèles numériques de terrain 2D1/2 grille au pas de 1m	Terrain (MNT)	Non applicable	structuré		ASCII Grid (Arcinfo)	opérationnel	IGN RGE Alti 1m https://geoservices.ign.fr/rgealti	open data	licence-ouverte-open-licence Etalab	Département ± 63 Go	externe XML, Thesaurus GEMET - INSPIRE themes, version 1.0 + Métadonnées qualité raster en GeoTIFF	livraison par dalle 1km x 1km Existe également au pas de 5m
OCS GE	Carto	surfacique	structuré		Shapefile	opérationnel	IGN https://geoservices.ign.fr/ocsg	open data	licence-ouverte-open-licence Etalab	Département 500 Mo, France entière 50 Go	externe XML, Thesaurus GEMET - INSPIRE themes, version 1.0	
BD Carto	Carto	linéaire, surfacique, ponctuel	structuré	BD Topo (simplifiée)	Shapefile	opérationnel	IGN https://geoservices.ign.fr/bdcarto	open data	licence-ouverte-open-licence Etalab	Département ± 32 Mo, France entière ± 2,8 Go	externe XML, Thesaurus GEMET - INSPIRE themes, version 1.0	mise à jour annuelle
BD Topo	Carto	linéaire, surfacique, ponctuel	structuré	BD Topo	Shapefile + PostgreSQL (Territoire)	opérationnel	IGN https://geoservices.ign.fr/bdcarto	open data	licence-ouverte-open-licence Etalab	Département ± 2 Go, France entière ± 195 Go	externe XML, Thesaurus GEMET - INSPIRE themes, version 1.0	livraison par département ou territoire Mise à jour annuelle

Données Smart City	Thématique	Géométrie associée (ponctuel, linéaire, surfacique, volumique)	Structuration (structuré, semi-structuré, non structuré)	Sémantique	Standards	Niveau d'interopérabilité (maturité)	Sources / provenance	Type d'accessibilité (Open data, portail, web, SI)	Restriction d'accès (Open data, restreinte, partagée)	Volumétrie (si applicable)	Métadonnées (interne / externe), modèle applicable	Commentaires
Plan Corps de Rue Simplifié (PCRS)	Réseaux enterrés	raster (ortho) ou vecteur (linéaire, surfacique, ponctuel)	structuré	PCRS	Shapefile + PostgreSQL	émergent	Régions, départements exemple : https://www.craig.fr/fr/produit/3727-plan-corps-de-rue-simplifie-pcrs	accès restreint sur adhésion	diffusion restreinte		externe XML (PCRS)	livraison par département ou territoire
Maquette urbaine 3D	Bati	2D 1/2 ou 3D	SQL, CityGML ou INSPIRE BU	CityGML ou Data dictionary maquette urbaine	CityGML CityJSON INSPIRE BU	émergent	exemple Grand Lyon https://data.grandlyon.com/jeux-de-donnees/maquettes-3d-texturees-2018-communes-metropole-lyon	open data		Modèle urbain : en Go (pour ville moyenne ou arrondissement) sans texturation Modèle bâtiments : en centaines Mo	métadonnées INSPIRE (cityGML) internes pour IFC Building	
Point d'Accès National aux données transport	Transports publics		structuré	schéma CSV, Json, XML	CSV, JSON, GeoJSON	opérationnel	https://transport.data.gouv.fr/	open data	Open Data Commons Open Database License (ODbL)			Données de l'offre de mobilité sur la France (usage des formats GTFS et GBFS)
Référentiel national des lignes et des arrêts	Transports publics		structuré	schéma CSV, Json, XML	CSV, JSON, GeoJSON	opérationnel	https://www.data.gouv.fr/fr/datasets/referentiel-des-lignes-et-des-arrets-au-format-netex/	open data	Open Data Commons Open Database License (ODbL)			Référentiel des lignes et des arrêts au format Netex

4.11. Tableau de synthèse Données Smart Cities Géospatial / BIM

Données Smart City	Thématique	Géométrie associée (ponctuel, linéaire, surfacique, volumique)	Structuration (structuré, semi-structuré, non structuré)	Sémantique	Standards	Niveau d'interopérabilité (maturité)	Sources / provenance	Type d'accessibilité (Open data, portail, web, SI)	Restriction d'accès (Open data, restreinte, partagée)	Volumétrie (si applicable)	Métadonnées (interne / externe), modèle applicable	Commentaires
Modèle produit industriel	Industrielle	volumique	structuré	ISO 10303	STEP	opérationnel	MOE MOA					
Maquette numérique	Construction	volumique (et surfacique)	structuré	bSDD	IFC	opérationnel	MOE MOA					
Fichier de collaboration	Construction	ponctuel	structuré		BCF	opérationnel	MOE MOA					
Données projet infrastructures	Infrastructure	linéaire, surfacique	structuré		LandXML	opérationnel	MOE MOA					

5. IoT

5.1 Introduction

Considérations générales

Le concept de « ville intelligente

Le concept de « ville intelligente » comporte des facettes multiples et des connotations qui proviennent de plusieurs disciplines ou secteurs économiques qui permettent difficilement de le définir de manière à la fois concise et éloquente.

Au sens large, une « ville intelligente » est une unité administrative de base d'un état qui met en œuvre les technologies actuelles de l'information et de la communication au bénéfice des acteurs économiques et sociaux qu'elle héberge, dans un sens plus restreint le même terme fait référence à l'interaction des moyens de communication pour assurer un fonctionnement optimal d'un environnement urbain.

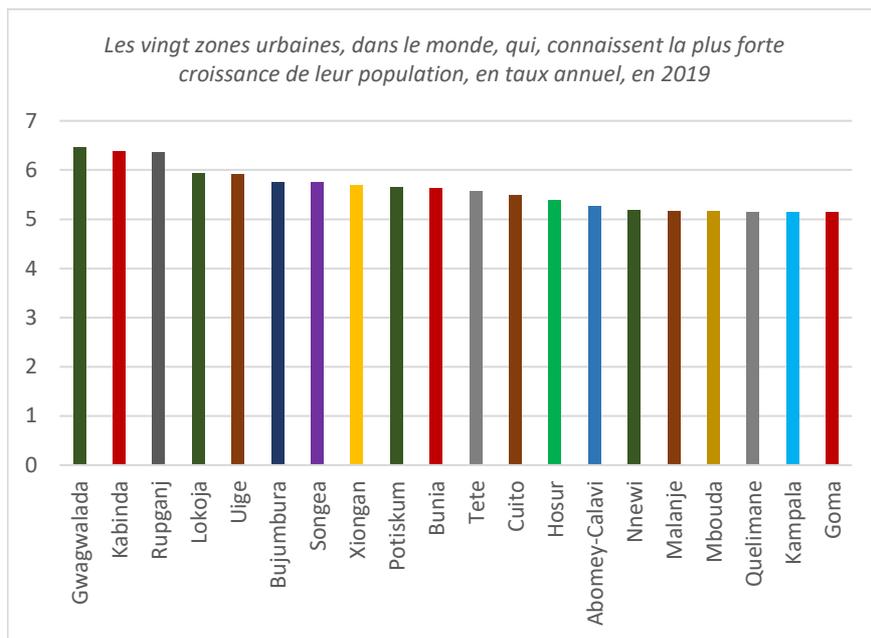
Les aspects organisationnels

On approche souvent cette définition au travers de ses domaines d'application et des caractéristiques qui leur sont propres, par exemple [1], [2] :

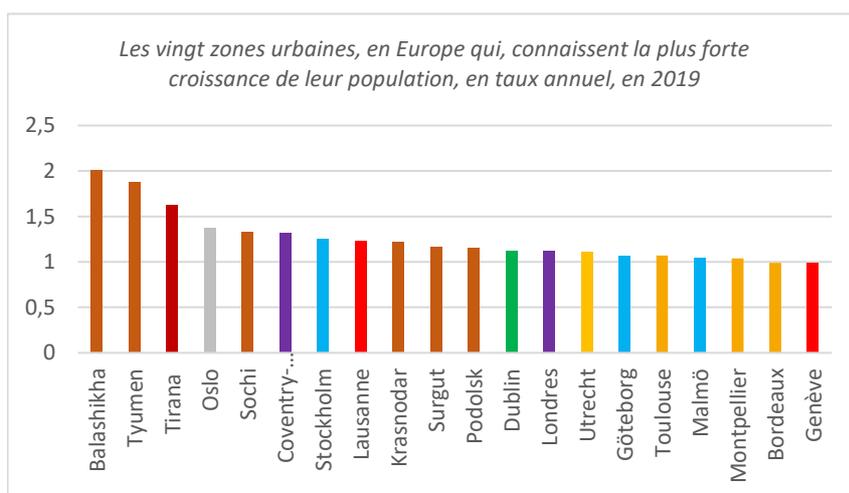
- Économie intelligente.
- Administration intelligente.
- Déplacements intelligents
- Résidents avertis.
- Environnement intelligent.
- Résidence intelligente.

La croissance urbaine : un moteur clé

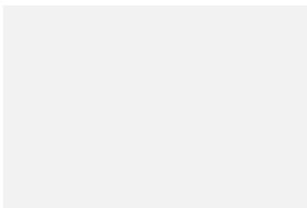
L'une des raisons de l'émergence du concept de « ville intelligente » réside dans la rapidité de la croissance et de la décroissance, dans le temps, des environnements urbains qui affecte de manière spectaculaire les mégapoles des pays en développement et des nouveaux pays industrialisés, soumis par l'attrait économique à des phénomènes d'exode rural exponentiels, mais tout aussi bien les pays développés qui sont depuis longtemps sujets à des redéploiement industriels dont il craignent les effets désorganisateur, tant en phase de croissance que de décroissance, qui constituent des sources de coûts à long terme. La flexibilité des concepts et des solutions IoT a rapidement attiré l'intérêt des autorités en charge de telles communautés. En Italie, 79 % des projets de ville intelligente s'appuient sur des technologies IoT



Albanie France Irlande Norvège Pays-Bas Royaume-Uni Russie



Angola Bangladesh Bénin Burundi Cameroun Chine Congo (RDC)
Inde Mozambique Nigeria Tanzanie Ouganda



Le taux de croissance annuel de la population est évidemment un indicateur qui embarque un certain nombre de biais, mais la relativité des écarts suggère qu'il existe de nombreuses aires urbaines, notamment dans les nouveaux pays industrialisés, mais aussi dans les pays développés pour lesquelles la réutilisation de technologies **IoT** orientées vers la résolution de problèmes urbains, quelle que soit leur origine, peut constituer une solution, et ouvre des perspectives à leur industrialisation.

La définition du client

L'intérêt des technologies mises en œuvre par les villes intelligentes ne doit pas être compris comme pouvant s'appliquer seulement à des cadres urbains. Elles

Un domaine majeur des applications de l'IoT

peuvent s'appliquer tout aussi bien à des communautés, réputées d'un niveau de responsabilité supérieure, qui administrent des communautés éparses et peu ou non organisées (par exemple : en Louisiane, les Paroisses qui sont les équivalents des comtés dans les autres états, fournissent les services attendus des municipalités aux établissements humains qui ne sont rattachées à aucune de celles-ci). Leur caractère urbain est d'ailleurs mitigé partout ou presque par la variété des organisations politiques et des mécanismes de dévolution (par exemple : pour des raisons historiques, le territoire de certaines communes de la plaine du Pô comme **Bologne** ou de **Toscane**, ont recouvert une ou plusieurs unités administratives anciennes qui portaient le nom de comté. Le territoire municipal de Bologne est plus comparable à celui d'un département français et comprend des établissements humains de diverses taille pour lesquels la municipalité de Bologne est seule responsable de l'assurance de certains services).

Le client d'une application de l'IoT peut être aussi un regroupement de municipalités intermédiaires dans l'ordre des divisions administratives comme les métropoles, là où elles n'ont pas fusionné avec un département, et les communautés de communes françaises, un de ses mandataires ou de ses délégataires. Il peut même être une intercommunalité créée ad-hoc comme **Tisséo Collectivités**, le syndicat mixte qui gère la mobilité dans le cadre de la métropole toulousaine et de plusieurs intercommunalités voisines.

Les premiers concepts de l'IoT sont nés vers 1999, au **MIT**, dans le cadre de travaux relatifs aux chaînes d'approvisionnement, et **l'Union Internationale des Télécommunications** a commencé de se les approprier et à reconnaître leur vocation multidisciplinaire vers 2005. L'industrie n'a jamais cessé d'expérimenter et de diversifier leurs domaines d'applications depuis. Les secteurs des transports et de l'automobile ont joué un rôle important au travers de l'utilisation des possibilités offertes par les capteurs dans leurs produits.

Les villes intelligentes constituent un domaine d'application majeur de l'IoT, par exemple pour :

- Superviser l'usage des parcours routiers ou ferroviaires.
- Contrôler les feux de circulation et piloter la signalétique urbaine.
- Faciliter l'animation culturelle et touristique.
- Gérer de manière efficace la distribution d'énergie et sa consommation par les infrastructures publiques, notamment les réseaux, souvent en cours d'expansion, de recharge des véhicules électriques.
- Assurer la médiation de l'IoT déployée au service des citoyens et de l'habitat avec les fournisseurs de ressources, tant en matière d'énergie, de communications que de logistique destinée à d'autres produits (eau, approvisionnements en denrées de base et en médicaments) ou services (soins médicaux d'urgence, prévention des incendies et des calamités naturelles, assistance à domicile ou à distance aux personnes vulnérables).
- Améliorer la sécurité des personnes et des biens.

Les critiques

Un certain nombre de critiques ont été adressées à l'usage de l'IoT dans le contexte des villes intelligentes, notamment :

- Qu'il constituerait un effet de mode qui permet de masquer l'absence de vision des décideurs à l'égard des enjeux réels de l'urbanisme.
- Qu'il ne présente pas d'intérêt pour les mégapoles des pays en développement où des centaines de milliers de résidents s'entassent dans des quartiers où ils n'ont pas même accès aux services élémentaires nécessaires à une vie humaine normale.
- Qu'il creuse les inégalités sociales parce que l'on équipe prioritairement des quartiers destinés aux mieux nantis.

- Qu'il présente des risques de surveillance généralisée non désirée ou de transmission de données personnelles non contrôlée à des tiers .
- Qu'il tend à produire des modèles de ville, notamment lorsqu'il est question du développement de villes nouvelles en Extrême-Orient dans lesquelles la liberté individuelle est fortement contrainte par les obligations sociales.

Chacune de ces critiques comporte sans doute potentiellement une part de vérité, mais concernent plus les politiques locales que la technologie en elle-même. L'histoire des technologies, observée aussi bien sur le temps court que sur le temps long, tend à prouver que les citoyens, indépendamment de leurs niveaux de fortune, sont souvent capables de se les approprier pour en faire des usages inattendus à leur propre profit.

Les chiffres des marchés mondiaux de la téléphonie mobile et des smartphones ne permettent pas d'établir une corrélation stricte avec les niveaux de développement économique des pays, ni d'ailleurs avec les termes de l'échange.

L'histoire d'un équipement coûteux comme le gramophone, dans les années 1920, montre des paysans prévenant une chute prévisible des prix agricoles en soldant prématurément leur récolte pour acquérir un équipement coûteux et inutile qu'ils savaient pouvoir revendre avec un léger bénéfice à des gens légèrement plus riches qu'eux-mêmes qui utilisaient les mêmes appareils dans le cadre de locations.

La technologie est incapable à elle seule de combler les écarts de richesse, ou de résoudre des situations juridiques que personne n'a vraiment envie de débrouiller et s'il est presque évident que la plupart des projets de ville intelligente doit s'appuyer sur des cas d'usage qui couvrent les situations du plus grand nombre possible de résidents, il semble néanmoins prétentieux de juger d'un point de vue théorique l'ensemble des situations. Les marchés des abonnements tendent à montrer qu'il reste un équipement privilégié aussi bien de travailleurs connus pour leur situation économique précaire que de résidents soumis à des contraintes drastiques d'approvisionnement en produits de base : ils contribuent visiblement à leurs fournir des solutions.

Définition de l'IoT

L'**Internet of Things**, (en français l'**Internet des Objets** – parfois abrégé en **IdO**) désigne l'ensemble des objets physiques ou numériques qui détiennent une identité numérique et qui sont capables de communiquer et d'échanger des informations avec des objets du même type.

L'**Union internationale des télécommunications (UIT)** l'a défini, dans sa recommandation **UIT-T Y.2060** comme : « *L'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.* ».

Depuis quand existe-t-il ?

Le terme « **Internet des objets** » est apparu dans une présentation de **Kevin Ashton**, cofondateur du « **Auto-id Lab** » du **MIT**, à **Proctor & Gamble** en 1999. Les travaux initiaux relatif à l'Internet des objets étaient axés sur les applications de consommation à domicile. Le secteur de la distribution aux Etats-Unis est traditionnellement très concerné par l'innovation technologique et fonde son intérêt sur de multiples succès historiques en matière d'innovation. Par exemple, Pendant la seconde guerre mondiale, les opérateurs de jukebox et de distributeurs de confiserie ont développé les technologies des disques Vinyes. Parmi les propositions commerciales qui ont permis au grand public de prendre conscience de son existence potentielle ou réelle on ne s'étonne pas de trouver des produits tels que le boîtier connecté « **Egg Minder** » de **Quirky**, une boîte à œufs qui permet de savoir de combien d'œufs il dispose encore en consultant une application sur son téléphone ou le « **LG Internet Digital DIOS** », un réfrigérateur connecté plus connu sous le nom de « **Smart Fridge** ».

Selon le **Cisco Internet Business Solutions Group (IBSG)**, l'IoT existe symboliquement depuis le moment où plus de « choses ou d'objets » étaient connectés à Internet que de personnes.

Population Mondiale en millions	6.300	6.800	7.200	7.600
Nombre d'objets connectés En millions	500	12.500	25.000	50.000
				
Nombre d'objets connectés Par personne	0,08	1,84	3,47	6,48
Année	2003	2010	2015	2020

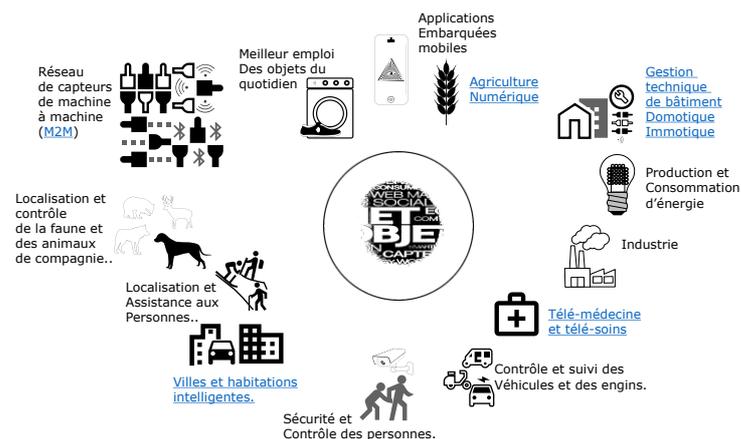
Entre 2008 et 2010, le nombre des objets connectés dépasse celui des humains

La dimension sociale

L'IoT impacte la vie de tous les jours et évolue en parallèle dans secteurs de l'activité sociale dont il est souvent plus facile d'identifier les différences, notamment du point de vue des technologies que chacun met en œuvre, que d'en appréhender et d'en comprendre les points communs.

L'IoT est l'une des technologies clés d'une révolution industrielle qui est en cours, et qui redéfinit certaines règles relatives à la production de la valeur et à l'organisation du travail. Beaucoup de ses mises en œuvre, au travers notamment des questions relatives à la sécurité personnelle et collective, mettent en évidence des problèmes, qui impliquent des décisions politiques, une adaptation du cadre juridique et réglementaire, dont beaucoup ne sont certainement pas, à ce jour résolus.

D'un certain point de vue l'IoT est aussi le produit de l'introduction de nouvelles technologies de l'information et de la communication dans des secteurs économiques qui n'évaluent pas exactement de la même manière la production de la valeur.



Quelques domaines d'application de l'IoT

On identifie plus l'IoT au travers de ses applications que grâce à une définition consensuelle. Or les applications de l'IoT s'adressent à des domaines très variés dont les discontinuités techniques n'ont néanmoins rien d'évident.

On pressent évidemment que certaines technologies comme celles qui permettent de localiser la faune sauvage, peuvent aussi avoir des applications urbaines (par

exemple pour détecter les intrusions des hardes de sangliers qui sont fréquentes dans des villes comme Gênes).

5.2 La nécessité de nouvelles approches

Des consensus difficiles à établir

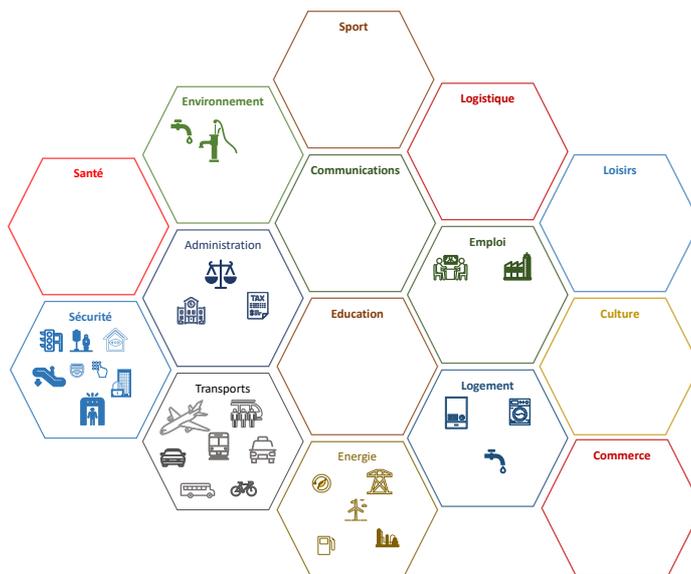
Le foisonnement technologique

La multiplicité des domaines d'application

Le foisonnement des initiatives, des technologies et de leurs mises en œuvre donne l'impression de consensus difficiles à définir.

En 2017, il existait plus de 620 sociétés dont une partie de l'activité était consacrée à l'IoT, et 450 plateformes IoT mise en œuvre dans le cadre de 1400 projets différents.

À un instant donné, l'IoT est mis en œuvre dans un certain nombre de domaines fonctionnels dont les contours sont plus ou moins définis de manière arbitraire. Plusieurs métiers sont susceptibles d'intervenir dans un même domaine (par exemple des compagnies aériennes, des compagnies de bus et de chemin de fer, des compagnies de taxi, et des sociétés chargées de développer les infrastructures dans le domaine des transports). Les domaines sont potentiellement interdépendants les uns des autres (les transports et le logement, par exemple, sont dépendants des fournitures en carburant). Certains domaines enfin sont potentiellement plus sujets à des résistances aux changements que d'autres.



Le besoin de normes

Une adoption totalement désordonnée des technologies IoT est potentiellement génératrice de surcoûts à court et à moyen terme (prévisions budgétaires et coûts des projets), mais aussi sur le long terme (coût environnementaux et conflits avec les politiques globales relatives aux consommations d'énergie).

Il est, par conséquent, critique d'adopter des méthodes qui permettent de rationaliser les choix en matière de composants matériels et numériques qui assurent sur le long terme une collaboration optimale des divers métiers, organisations et domaines fonctionnels, sans remettre en cause de manière permanente les choix déjà effectués. La définition de ces méthodes s'appuie sur la mise en œuvre de composants et d'architecture de systèmes qui assurent leur interopérabilité.

Dans tous les domaines économiques, la coopération de produits différents s'appuie sur l'existence et l'application de normes. La croissance exponentielle de la complexité des produits accroît ce besoin de normes : la conception et le prototypage de l'**iPhone** a nécessité la mise en œuvre et l'application de plus de 200 normes pour constituer la

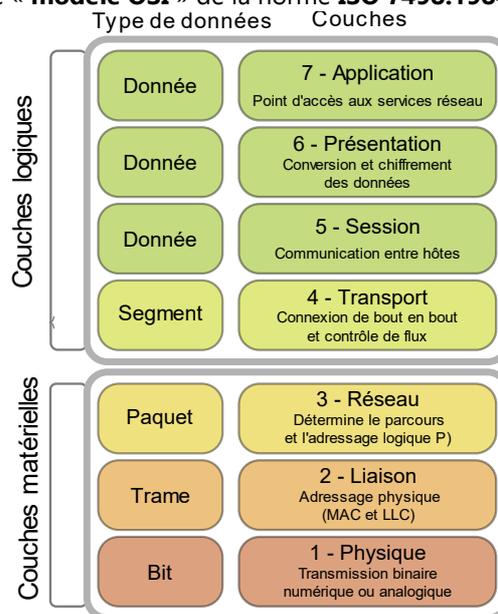
version de base de l'appareil, c'est-à-dire celle qui ne comporte aucune fonctionnalité susceptible de le distinguer des produits concurrents.

Néanmoins, au cours des dix à quinze dernières années, la couverture des produits par des normes a eu tendance à reculer. La principale cause de cette régression est la réduction du délai de mise sur le marché que l'amélioration des méthodes, des processus et des outils a permise. De nombreux groupes de travail engagés de la définition de nouvelles normes n'ont finalement produit que des normes déjà quasi obsolètes lorsqu'ils les ont publiées.

Approches analytiques de l'IoT

L'approche par une pile d'interopérabilité

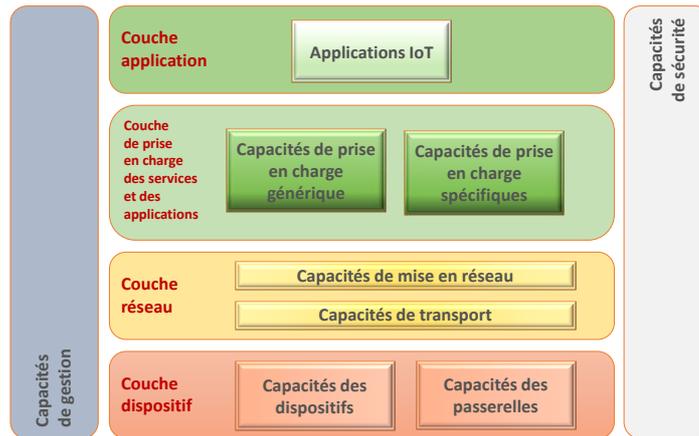
Dès 2012, l'**Union internationale des télécommunications** a défini une « **Pile IoT** » inspiré par le « **modèle OSI** » de la norme **ISO 7498:1984**.



Le modèle OSI pour l'architecture interopérable des réseaux de communication informatique

Le modèle **OSI**, à l'époque de son inclusion dans les normes, ne faisait pas l'unanimité, et la conception des protocoles **TCP** et **IP**, notamment, s'en était affranchie. Il a finalement eu plus d'impact sur la manière de concevoir les systèmes que sur l'architecture des réseaux eux-mêmes. L'existence d'un modèle ne doit jamais faire oublier qu'il peut exister d'autres points de vue non moins pertinents.

Le modèle de l'**Union internationale des télécommunications** pour les systèmes qui incorporent des technologies **IoT** simplifie le sujet afin d'en faciliter la compréhension.



Le modèle UIT pour l'architecture interopérable des applications IoT

Une évolution en cours :
la notion d'actionneur

Couche	Capacité	Description sommaire
Dispositif	Capacité des dispositifs	Elles sont évidemment nombreuses, mais la principale a trait à la capacité du dispositif à interagir avec un réseau ou avec une passerelle.
	Capacité des passerelles	Elles consistent à pouvoir communiquer avec un certain nombre de dispositifs et avec le réseau. Elles comprennent éventuellement des conversions de protocole.
Réseau	Capacités de transport	Elles consistent à fournir les services de transport des données fonctionnelles et des données de contrôle, soit à l'intention des dispositif IoT, soit à l'intention des applications IoT.
	Capacités de mise en réseau	Elles fournissent les fonctions de contrôle qui assurent le contrôle d'accès et le contrôle des ressources de transport, la gestion de la mobilité, la gestion de l'authentification et des autorisations, et la gestion de la comptabilité pour les différents réseaux impliqués dans l'architecture IoT.
Prise en charge des services et des applications	Capacités de prise en charge générique	Ce sont les moyens communs qui sont susceptibles d'être utilisés par plusieurs applications IoT comme les moyens de traitement et de stockage de données.
	Capacités de prise en charge spécifiques	Ce sont des moyens qui prennent en compte les besoins spécifiques à certaines ou à certains groupes d'applications IoT.
Application	C'est la couche qui contient les applications IoT.	

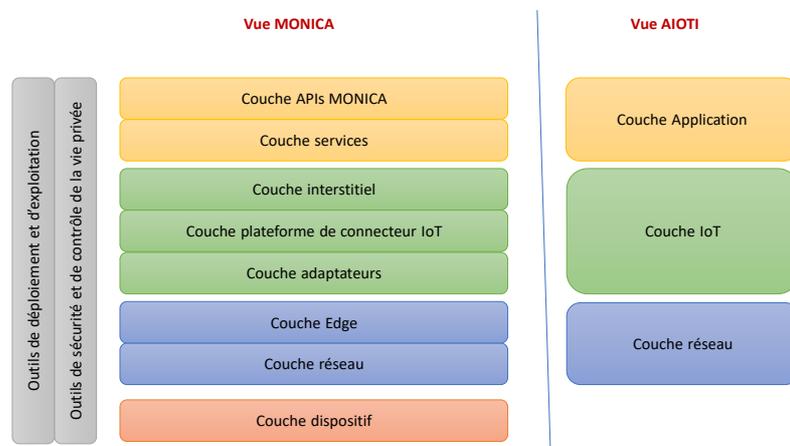
Ce modèle qui reste vrai dans un certain périmètre, s'est rapidement révélé trop simple pour représenter tous les problèmes d'interopérabilité que l'on peut rencontrer dans des architectures IoT.

L'approche du projet européen MONICA

L'architecture des solutions Monica

Le projet **MONICA**, supporté par l'Union Européenne dans le cadre du Programme **Horizon 2020**, et qui est officiellement terminé depuis le 31 mars 2020, en collaboration avec six métropoles européennes (**Lyon, Bonn, Leeds, Turin, Copenhague et Hambourg**), a permis de démontrer la pertinence de l'usage de l'**IoT** à grande échelle afin d'améliorer le management des grands évènements tenus en plein air du point de vue de la sécurité des foules, du contrôle de la pollution sonore, et de plateforme destinée à soutenir les applications qui visent à améliorer l'expérience des participants aux évènements [14].

Le projet **MONICA** a défini une architecture de référence pour structurer les solutions développées par les villes participantes. L'une des exigences de conception de cette architecture consistait à prendre en compte une interopérabilité avec les autres projets et initiatives européennes de recherche telles que **AIOTI, IoT-EPI, FIWARE, Fiesta-IoT, Open-IoT, CRYSTAL** et **SOFIA**.



Architecture d'application du projet MONICA [s17].

Couche	Fonctions
API Monica	Fournit les API destinées aux applications à usage public ou professionnel..
Services	Fournit des services d'agrégation de la données issue des capteurs, de traitement de données, une base de connaissances partagée et des outils d'aide à la décision.
Couche instertiel	Ou couche Middleware . Elle fournit des service de stockage et de management de l'annuaire. Son implémentation est basée sur LinkSmart .
Couche plateforme de connecteurs IoT	Elle présente des données IoT conformes au standard OneM2M , gère les communications et l'intégration des données issues des plateformes IoT externes.
Couche adaptateurs	<ul style="list-style-type: none"> Elle s'appuie sur le module Smart City Resource Adaptation Layer (SCRAL), développé dans le cadre du projet MONICA afin de fournir une gestion des ressources et

Le modèle fonctionnel AIOTI		une présentation des données uniforme et indépendante de la technologie.
	Couche Edge	<ul style="list-style-type: none"> Elle est composée de passerelles qui assurent les connexions entre les dispositifs et la machinerie d'arrière plan de MONICA, ainsi que des traitements de données en temps réel.
	Couche réseau	<ul style="list-style-type: none"> Elle permet d'accéder à des dispositifs hétérogènes qui mettent en œuvre des technologies réseau standardisées, mais différentes.
	Couche dispositif	<ul style="list-style-type: none"> Elle comprend tous les dispositifs : mobiles, portés, senseurs et actionneurs.
L'Alliance for Internet of Things Innovation (AIOTI), dans le cadre de ses travaux de normalisation a entrepris de développer un modèle d'architecture de haut niveau, pour les applications IoT, conforme à l'approche multi points de vue de la norme ISO/IEC/IEEE 42010 . Cette architecture de haut niveau sert principalement à comparer des modèles entre-eux. Le modèle fonctionnel de l'architecture AIOTI comporte trois couches seulement [s18].		
	Couche	Fonctions
	Application	Fournit les moyens de communication et les interfaces qui permettent des échanges de processus à processus.
	Couche IoT	Regroupe les fonctions nécessaires au stockage et au partage des données IoT qu'elle expose à l'intention de la couche application au travers d' API .
	Couche Réseau	Elle fournit les services réseaux qui comprennent des moyens d'échange de données sur de grande distance, des fonction qui assure le cabotage des données au travers de multiples entités, des fonctions de contrôle et de localisation, et des fonctions destinées à assurer la qualité de service.

L'approche tridimensionnelle de l'interopérabilité IoT

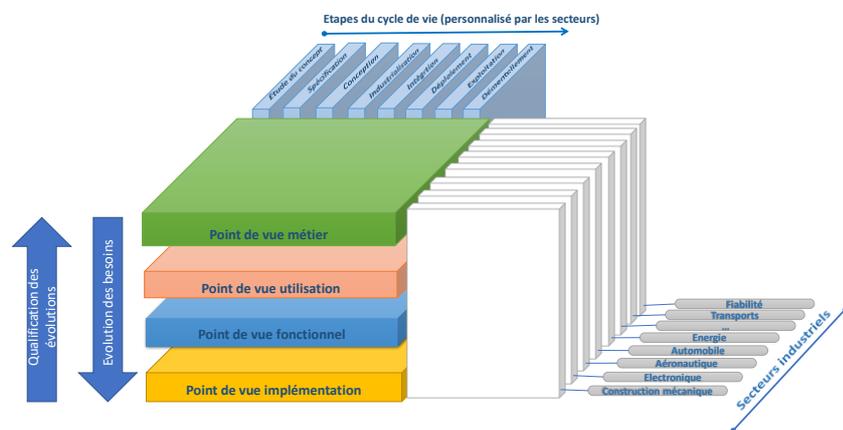
La SmartCity vue comme un système de systèmes

L'**IIC** (Industrial Internet Consortium), un projet de l'**OMG** (Object Management Group), s'est appuyé sur les concepts définis dans la norme **ISO/IEC/IEEE 42010:2011** (Ingénierie des systèmes et des logiciels — Description de l'architecture), et sur les résultats déjà obtenus dans certains secteurs économiques, pour définir une architecture générale, nommée **IIRA** (Industrial Internet Reference Architecture) qui a vocation à piloter l'interopérabilité dans de nombreux domaines. Le niveau d'abstraction de l'**IIRA** a été défini de manière à ce que l'architecture transcende les technologies disponibles actuellement [s21].

L'**IIRA** s'appuie sur le concept clé de l'Ingénierie des systèmes qui considère que la meilleure manière de spécifier de concevoir et de réaliser un système complexe, consiste à l'organiser en sous systèmes chacun destiné à satisfaire un sous

ensemble précis d'exigences et à résoudre un ensemble défini de problèmes. Elle organise les sujets en s'appuyant sur les concepts suivants :

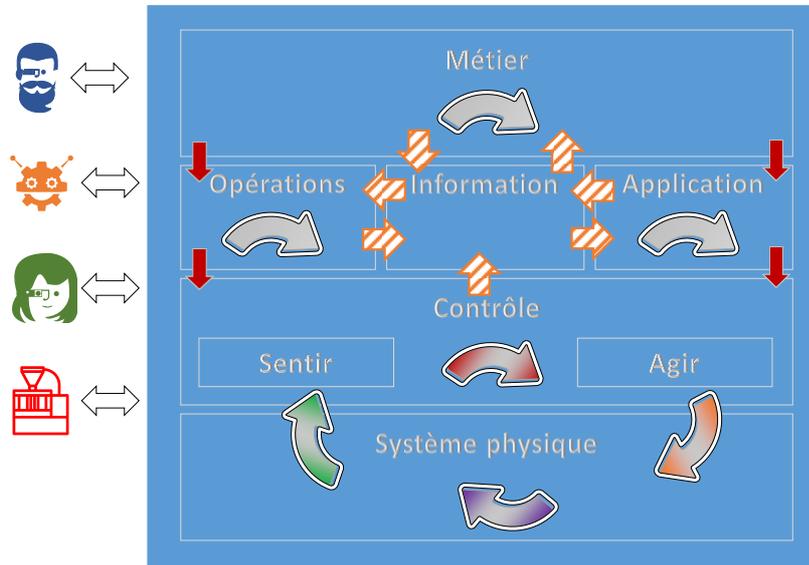
- Les problèmes : n'importe quel sujet qui présente un intérêt à l'égard du système est un problème.
- Les points de vue : chaque ensemble de conventions qui encadre la description et l'analyse d'un sous ensemble de problèmes constitue un point de vue.
- Les types de modèle : un ensemble de conventions qui permettent de décrire, d'analyser et de résoudre un sous-ensemble de problèmes de manière spécifique. Le développement d'un point de vue peut s'appuyer sur plusieurs types de modèles.
- Les modèles : un modèle est le résultat de l'application des conventions d'un type de modèle pour décrire, analyser et résoudre un groupe de problèmes dans le cadre d'un point de vue.
- Les détenteurs d'enjeux : tout individu, groupe ou organisation qui est intéressé par un problème, et par conséquent par un point de vue, dans le cadre du développement du système.



Les points de vue IIRA

Point de vue	Fonctions
Métier	Identifie les problèmes des détenteurs d'enjeux en s'appuyant sur leur vision, leurs valeurs et leurs objectifs métier afin d'intégrer le système IoT dans leurs chaînes de production de la valeur et leurs contextes réglementaire.
Utilisation	Il s'intéresse au mode d'emploi du système. Il peut être représenté par des suites d'activités au cours desquelles des personnes et des acteurs numériques collaborent afin de produire les résultats que l'on attend du système.
Fonctionnel	Il s'intéresse principalement aux composants fonctionnels du système IoT, à leur structure, leurs relations, leurs interactions et leurs interfaces. Il prend aussi en compte les rapports et les interactions avec des entités externes à l'environnement.
Implémentation	Il se préoccupe des aspects technologique de l'implémentation des composants fonctionnels, des

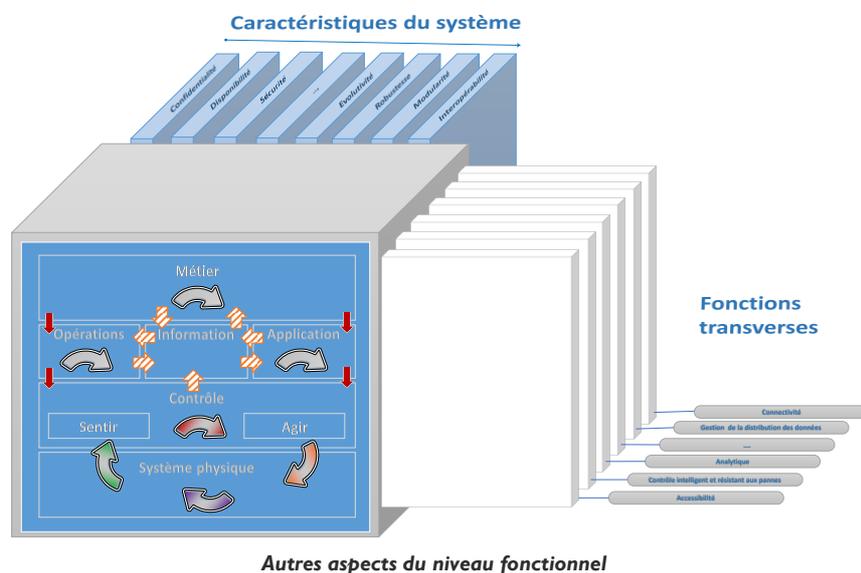
Le point de vue fonctionnel, afin de permettre une analyse efficace des problèmes est organisé en domaines fonctionnels qui constitue les blocs de base du système



Domaine	Rôle
Contrôle	Le domaine contrôle implémente les systèmes de contrôle industriels qui agissent et régissent, potentiellement de manière intelligente. Ils ont tendance à devenir toujours plus mobiles.
Opérations	Le domaine opérations gère et fait opérer le domaine contrôle.
Information	Le domaine information gère et traite les données. Il récupère les données qui sont collectées par le domaine contrôle et les enrichit grâce à des informations complémentaires qui proviennent de sources diverses.
Application	Le domaine application câble la logique des fonctions qui réalisent les fonctionnalités métier. Ces fonctions manipulent des données relativement grossières, elles délèguent l'exécution des actions sur des fines et continues à des fonction du domaine contrôle.
Métier	Le domaine métier implémente la logique fonctionnelle spécifique aux métiers qui soutient les processus globaux. On trouve à ce niveau les application d'entreprises comme les progiciels de gestion intégrés (ERP), les systèmes de management du cycle de vie des produits, les systèmes de management du cycle de vie des applications (ALM), les systèmes de management de la production (MES), les systèmes de management des ressources humaines (HRM), les systèmes de gestion de production assistée par ordinateur (GPAO), les systèmes de management du cycle de vie des opérations, les systèmes de maintenance et de réparation

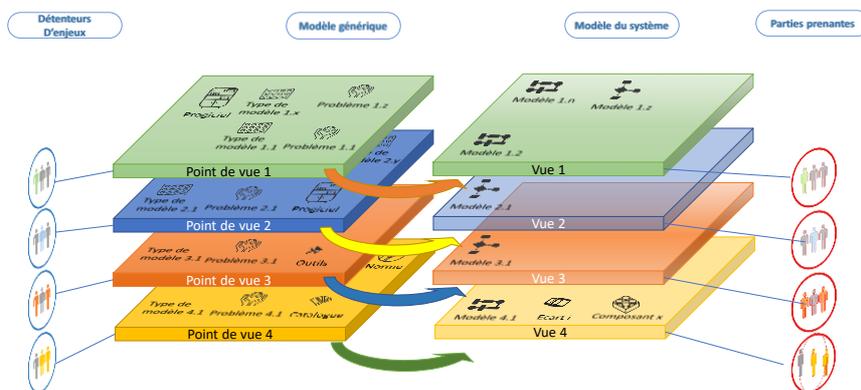
(MRO), les systèmes d'ordonnancement, et les ateliers numérique qui supportent leurs activités.

Le niveau fonctionnel supporte les fonctions transverses et doit satisfaire des exigences relatives aux caractéristiques du système.



Intérêt et utilisation des modèles

Le modèle d'interopérabilité générique est un guide qui permet de séparer les problèmes et de modéliser leur résolution dans un cadre pertinent. Il permet d'organiser le modèle global d'une application **IoT** et son urbanisation au sein d'un écosystème où évoluent d'autres applications de même nature.

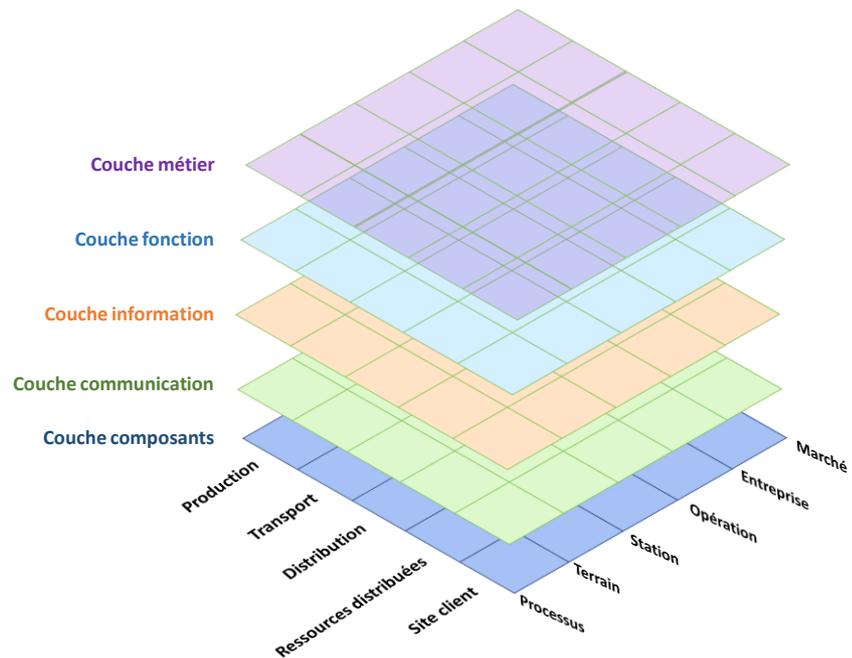


L'application cible est décrite à l'aide de modèles dont le formalisme est adapté au point de vue concerné et au sujet traité. Les types de modèles sont souvent fournis par des méthodes généralistes d'Ingénierie des systèmes (SysML, UML, Ide, etc.), mais aussi par des méthode de modélisation spécifiques à des métier ou à des secteurs industriels (BIM, CityGML, Arcadia, etc.). Quand l'application s'appuie sur un progiciel, il est rarement utile de modéliser celui-ci en détail : on s'appuie alors sur une modification par écart. Enfin, le simple fait de choisir un composant dans un catalogue afin de satisfaire un ensemble donné d'exigences constitue en soit une action de modélisation que l'on résume le plus souvent par un document de justification.

Modèles sectoriels pour l'interopérabilité de l'IoT

Le modèle SGAM

Le **Smart Grid Architecture Model**, développé conjointement par le **CEN**, le **CENELEC** et l'**ETSI**, est le modèle qui a inspiré la plupart des modèles d'interopérabilités actuels. Ses concepteurs se sont appuyés sur l'idée que les réseaux électriques intelligents étaient quasiment un cas d'école en matière de système de systèmes, sur des travaux précédemment réalisés par le **NIST** et l'**IEC**, et sur les acquis de standards indépendants du domaine de l'architecture des entreprises comme **TOGAF** [23], [24].



Le modèle RAMI 4.0

L'architecture de référence Industrie 4.0 a été définie par l'Association des Fabricants Allemands d'électricité et d'électronique (**ZVEI**) afin d'aider les initiatives de l'Industrie 4.0. Le modèle d'interopérabilité **RAMI 4.0** est aujourd'hui le modèle le plus avancé applicable à l'interopérabilité des systèmes IoT. Il a été développé en plaçant la digitalisation de la production industrielle, à la pièce ou en processus, au centre du sujet, mais avec l'ambition de pouvoir être facilement étendu ou réemployé dans d'autres domaines. Il est destiné à prendre en compte entre les différences entre les deux générations de systèmes [15].

Caractéristiques des systèmes Industrie 3.0	Caractéristiques des systèmes Industrie 4.0
<ul style="list-style-type: none"> • Structure principalement matérielle • Fonctions attachées aux matériels. • Communications hiérarchiques. • Produits isolés. 	<ul style="list-style-type: none"> • Des systèmes et des machines flexibles. • Fonctions distribuées sur les réseaux. • Les participants interviennent plutôt de manière transverse dans le cadre de communications en réseau. • Les produits sont intégrés au réseau.

Les axes du modèle sont les suivants :

- L'axe « X » ou axe de la « Chaîne de création de la valeur » s'appuie sur celui qui a été défini dans la norme **IEC 62890** « Mesure, commande et automation dans les processus industriels - Gestion du cycle de vie pour systèmes et composants ».
- L'axe « Y » ou axe des « Couches du modèle » a été défini de manière à créer un consensus avec les modèles déjà existants.
- L'axe « Z » ou axe de la « Hierarchie des fonctionnalités » est dérivé des hiérarchies définies par la norme **IEC 62264** « Intégration des systèmes de contrôle de l'entreprise » et **IEC 61512** « Contrôle des lots ou fournées ».



Le modèle RAMI 4.0 d'architecture interopérable des applications IoT

Couche	Fonctions
Métier	<ul style="list-style-type: none"> • Assurer l'intégrité et la cohérence des processus et des fonctions de la chaîne de la valeur. • Réconcilier les modèles métiers avec le modèle global. • Répondre aux exigences légales et réglementaires. • Modéliser les règles que le système doit suivre. • Coordonner les services de la couche fonctionnelle. • Assurer les liaisons entre les différents processus métier. • Traiter les événements relatifs aux processus métier.
Fonctionnelle	<ul style="list-style-type: none"> • Décrire la sémantique des fonctions grâce à des métadonnées.

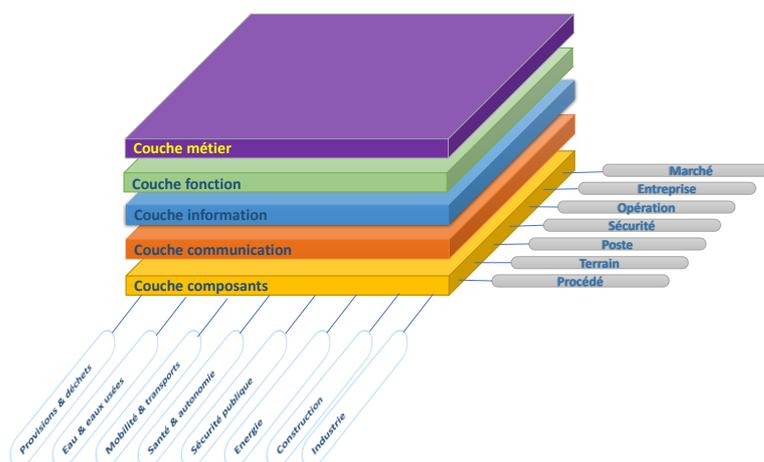
		<ul style="list-style-type: none"> Fournir une plateforme d'intégration horizontale des diverses fonctions. Fournir un environnement de modélisation et d'exécution aux services qui contribuent aux processus métier. Fournir un environnement d'exécution pour les applications et les fonctionnalités techniques.
	Information	<ul style="list-style-type: none"> Fournir un environnement d'exécution pour le pré-traitement des événements. Exécuter les règles applicables aux événements. Permettre une description formelle des règles de traitement des événements. Assurer la persistance et l'intégrité des données que les modèles décrivent. Intégrer de manière cohérente des données qui proviennent de sources différentes. Produire ou obtenir des données dont la qualité est améliorée. Fournir des données structurées au travers d'interfaces. Traiter des événements et les transformer pour qu'ils deviennent compatibles avec les données gérées dans cette couche.
	Communication	<ul style="list-style-type: none"> Standardiser les communications en utilisant un format uniforme à l'intention de la couche Information. Fournir des services qui permettent de contrôler la couche Intégration.
	Intégration	<ul style="list-style-type: none"> Fournir l'information relative aux agents sous une forme qui peut être traitée par un ordinateur. Contrôle assisté par ordinateur des processus techniques. Recueillir les événements auprès des agents. Intégrer les éléments connectés (senseurs, lecteurs, activateurs, lecteurs, etc.).
	Agent	<ul style="list-style-type: none"> Représente les composants et les acteurs du monde réel dont la connexion à la couche Intégration peut être active ou passive.
Autres modèles sectoriels		<ul style="list-style-type: none"> HBAM, The Home and Building Architecture Model, DIN, VDE, 2019 [25, p. 62]. EMAM, Electric Mobility Architecture Model [26], EMSA, E-Mobility Systems Architecture [27]. MAF, Maritime Architecture Framework. SERA, Smart Energy Reference Architecture [28]. SHBERA, Secure Interoperable Iot Smart Home/Building And Smart Energy Reference Architecture [28]. SHBIRA, Smart Home/Building IoT Reference Architecture [28].

L'approche tridimensionnelle de l'IoT appliquée à la ville intelligente

Le modèle SCIAM

L'idée générale consiste à adopter un cadre d'analyse compatible avec la complexité et la diversité de la ville intelligente qui permet aussi de prendre en compte les aspects relatifs à l'impact de l'IoT sur l'environnement global.

Le **Smart City Infrastructure Architecture Model (SCIAM)** a été défini dans le cadre du développement de la feuille de route pour les villes intelligentes de l'institut **DIN/DKE**. Ses concepteurs se sont appliqués à mettre en évidence des domaines qui présentent un intérêt majeur pour les villes intelligentes [22, § 5.3.2, p. 75].

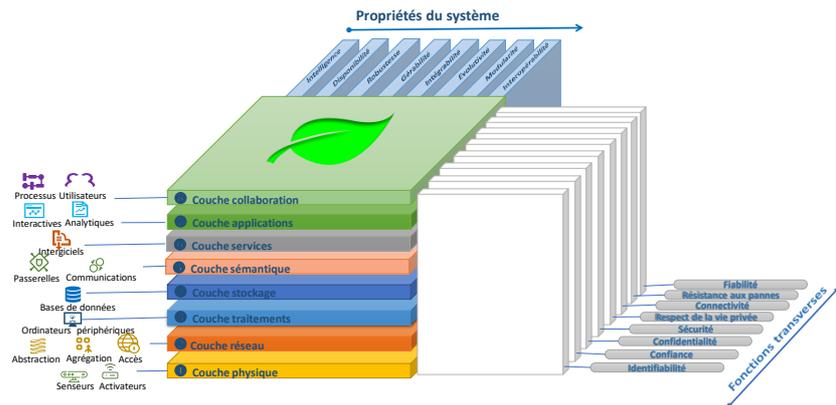


Le point fort de ce modèle réside dans le fait qu'il correspond assez bien à la perception que l'on a de l'IoT dans la Smartcity sans en être spécialiste. Son point faible est qu'il encourage une vision en silos fonctionnels alors que tout le monde peut sentir qu'elle est synonyme de dispersion des moyens et de doubles emplois. Il n'y a aucune raison, par exemple, de ne pas partager, en période de canicule les données qui seraient recueillies par des capteurs environnementaux entre les services d'une ville qui sont orientés vers la préservation des espaces verts et vers le soutien à l'autonomie des résidents âgés. Dans une ville comme Los Angeles, en période de canicule, les températures peuvent varier de quelques degrés entre une rue et une autre.

L'architecture IoT de l'interopérabilité pour la Smart City de la CNECT

Le **SINTEF** et la **Direction générale des réseaux de communication, du contenu et des technologies (CNECT) de l'Union Européenne** ont proposé un modèle d'interopérabilité pour la Smart city qui prend à la fois mieux en compte les politiques de l'Union Européenne en matière environnementale, et les évolutions récentes ou prévisibles de l'IoT.

La pile est composée de couches verticales qui représentent l'architecture d'un système d'information destiné à opérer dans le cadre de la ville intelligente. Les autres dimensions représentent respectivement les fonctions transversales et les propriétés du système qui garantissent la cohérence de son comportement.



Inetum-Internal

La couche physique

C'est le niveau où l'on trouve les capteurs, les actionneurs et les moyens qui permettent de s'y connecter. La complexité et l'intelligence des sous-systèmes que l'on peut trouver à ce niveau peut varier depuis celui d'une étiquette RFID jusqu'à des Systèmes cyber-physiques (CPS) comme des robots et des drones intelligents, et des véhicules autonomes.

Les exigences qui spécifient ces systèmes sont déclinées selon les deux autres dimensions de la pile et doivent inclure des exigences relatives à l'optimisation de leur consommation d'énergie.

La couche réseau

La couche réseau joue un rôle central dans les applications IoT et leur déploiement. Elle permet de transférer des informations depuis la couche physique vers des composants d'autres couches. Plus de cinquante protocoles de communication peuvent être mis en œuvre à ce niveau, et le choix de l'architecture de communication joue un rôle crucial à l'égard de sa consommation d'énergie. Dans certaines situations, le passage par des passerelles et des stations relais peut-être un moyen d'optimiser le coût énergétique des communications.

La couche traitements

Cette couche concerne l'analyse, la transformation, l'analytique, le minage et l'apprentissage machine qui peuvent être pratiqués au plus près de la source des données (Edge computing). Elle comporte d'abord des composants qui sont capables de recevoir des données ou d'agir sur les composants de la couche physique et de les transmettre à des composants capables de les stocker dans une ou plusieurs bases de données de la couche stockage. Ces composants peuvent tout aussi bien être connectés à des bases de données distribuées, des bases destinées à l'exploration de données, ou des mégabases de données. Ils peuvent être potentiellement acteurs de n'importe quel traitement de données.

La couche stockage

Elle assure le stockage et la mise à jour continue des données transmises par la couche traitement. Elle peut comprendre des fonctionnalités destinées à la conservation à long terme de données brutes qui ne sont pas nécessaires aux opérations en temps réel de la couche traitement. Elle peut utiliser des bases de données de tout type (relationnelles, graphes, plus que relationnelles, ...).

La couche sémantique

Elle applique des règles simples qui permettent de transformer des événements et des données de bas niveau en événements et en données d'un niveau d'abstraction élevé, c'est-à-dire dotées d'une signification interprétable par des utilisateurs. Elle fournit des passerelles entre l'IoT et les applications traditionnelles de management des entreprises telles que les **ERP** (Progiciels de gestion intégrés), les **CRM** (Progiciels de gestion de la relation client), **SRM** (Progiciels de gestion de la relation fournisseurs), **SCM** (Progiciels de management de la chaîne logistique), **PLM** (Progiciels de management du cycle de vie des produits), et tout autre système qui interagit avec des applications IoT).

La couche application

Elle offre l'accès aux diverses solutions logicielles, le plus souvent orientées vers un marché vertical, qui permettent aux utilisateurs, à leurs partenaires commerciaux, aux machines, aux dispositifs et aux systèmes d'information de l'entreprise de partager de l'information. Elles comprennent des solutions qui supportent des missions critiques, des applications industrielles spécialisées, des applications mobiles, et des plateformes d'analyse.

La couche collaboration

Elle comprend les systèmes d'information d'entreprise et les bases qui gèrent de grands volumes de données et qui échangent des informations dans le cadre de processus de haut niveau plus ou moins automatisés selon les métiers.

Que faut-il retenir de la multiplicité des approches ?

La multiplicité des approches et des architectures sectorielles donne souvent l'impression d'une absence de consensus relatif à l'IoT en général et à l'IoT dans le cadre de la Smart city. Il est néanmoins possible d'en tirer un certain nombre de conclusion :

Il est possible d'appairer les architectures entre elles en s'appuyant sur des architectures dont le niveau d'abstraction est plus élevé.

Les architectures les plus abouties tendent à fournir des types de modèles et des canevas d'architecture sans cesse plus aboutis et plus réutilisables.

Développer les applications destinées à la ville intelligente nécessite de disposer de plateformes et outil qui permettent une collaboration aussi large que possible des acteurs qui sont commis à leur réalisation, afin qu'ils puissent mettre en commun des modèles de systèmes ou de vues de modèles de systèmes qui assurent le caractère privé de certaines parties de leur savoir-faire et qui préservent leurs clients et leurs partenaires d'éventuels surdosages d'information.

La présence en grand nombre de dispositifs de plus en plus complexes et de plus en plus mobiles, rend nécessaire la mise en place d'applications de management des actifs de la ville intelligente afin d'en maîtriser mieux la maintenance en mode opérationnel et les évolutions.

5.3 Nouveaux concepts, Nouvelles approches

Des technologies qui évoluent rapidement

Le tableau ci-dessous examine quelques caractéristiques des technologies impliquées dans l'architecture des villes intelligentes, et leur évolution dans le temps.

Panorama des technologies dominantes

Facette technologique	Première période (2016-2018)	Deuxième période (2019-2020)	Troisième période (2021-2025)
Architecture logique de référence	Cloud	Cloud et Fog	Cloud, Fog et Edge sur réseaux privés
Analyse des données	Sur le cloud	Sur les serveurs Edge et sur le Cloud	Embarquée sur les dispositifs, sur les serveurs Edge et sur le Cloud
Intelligence artificielle	Aucune	Sur les serveurs Edge et sur le Cloud	Embarquée sur les dispositifs, sur les serveurs Edge et sur le Cloud
Sécurité de bout en bout	Non	Oui	Oui
Contrôle de la vie privée de bout en bout	N'est pas pris en considération	Oui	Oui

Connectique de domaine à domaine	Câblée, 3G/4G	Câblée, 3G/4G	Câblée, 3G/4G et 5G
Protocoles de connexion aux systèmes périphérique	Wi-Fi, BT, Z-Wave, ZigBee, LoRa, SigFox.	Wi-Fi, BT, Z-Wave, ZigBee, LoRa, SigFox. NB-IoT, LTE-M.	Wi-Fi, BT, Z-Wave, ZigBee, LoRa, SigFox, NB-IoT, LTE-M, 5G.
Ordinateurs de frontière	Passerelles avec des capacités de routage	Serveurs Edge supportant les services de passerelle et de routage	Serveurs Edge distribués supportant les services de passerelle et de routage
Dispositifs	Senseurs intelligents	Senseurs intelligents, Systèmes cyber-physiques (Drones, Robots)	Senseurs intelligents, Caméras intelligentes, Systèmes cyber-physiques (Drones, Robots)
Architecture fonctionnelle de référence	Senseurs + Capacité de traitement + Connectique	Senseurs + Capacité de traitement + Connectique + Sécurité	Senseurs + Capacité de traitement + Connectique + Sécurité + Intimité + Intelligence artificielle
Sécurité	Non prise en compte	Prise en compte	Prise en compte
Intimité	Non prise en compte	Non prise en compte	Prise en compte
Prise de décision et analyse de données traitée par l'intelligence artificielle	Non prise en compte	Non prise en compte	Prise en compte
Débit	Faible (< 200 Kilo-octets/s)	Faible (< 500 Kilo-octets/s)	Elevé (> 500 Kilo-octets/s)
Traitement de la donnée des senseurs	Simple	Pour de multiples senseurs	Pour de multiples senseurs et des caméras
Actionneur	Non prise en compte	Non prise en compte	Pris en compte
Autonomie	Faible	Moyenne	Élevée
Fiabilité	Non prise en compte	Améliorée	Obligatoire
Jumeaux numériques	Jumeaux numériques pour refléter l'état Jumeaux numériques pour la simulation	Jumeaux numériques opérationnels gérant des événements et des simulations spécifiques à un domaine	Jumeaux numériques autonomes Jumeaux numériques collaboratif en périphérie et inter-domaine

Les mégadonnées

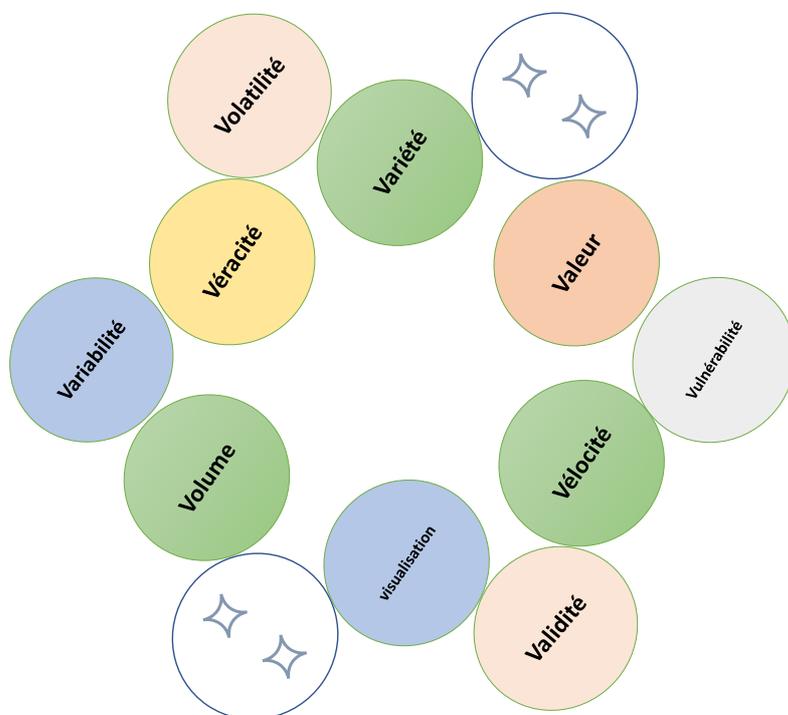
Brève histoire

La récolte de données pour améliorer les processus métier est ancienne puisqu'elle a été inventée en Mésopotamie, il y a plusieurs millénaires pour contrôler le rendement des domaines royaux grâce à une comptabilité. La première récolte de données de grande ampleur sous une forme plus ou moins automatisée, remonte seulement au développement par IBM, grâce à la technique des cartes perforées, d'un système destiné à tracer les cotisations sociales de 26 millions d'employés et de 3 millions d'employeurs Américains. Les premiers entrepôts de données sur supports magnétiques sont apparus entre 1965 et 1970.

Le terme de mégadonnées (en anglais : Big Data) a été forgé par Roger Magoulas, directeur d'un service chargé de la prospective marketing chez l'éditeur O'Reilly. La même année, la société Yahoo entreprend de développer Hadoop, un système de fichier et de traitement de données distribués dont elle transfère les résultats et la responsabilité à la Fondation Apache à partir de 2008. Tout un écosystème de logiciels naît alors autour de cette solution Open Source. A partir de 2011, les mégadonnées deviennent un phénomène de mode et suscitent même des prévisions trop optimistes, voir excessives. En 2011, le cabinet de conseil stratégique McKinsey Global Institute n'hésitait pas à prédire qu'à l'horizon 2018, les Etats-Unis auraient besoin de 140.000 à 190.000 experts de l'analyse de données et de 1,5 million d'administrateurs de données[30].

Définition

Le Gartner Group définit la mégadonnée comme « des actifs d'information de l'entreprise caractérisés par leur grand volume, une grande rapidité de production et/ou une grande variété, qui exigent qu'on leur applique des traitements rentables et innovants afin qu'ils améliorent les connaissances, la prise de décision et l'automatisation des processus. [31] ».



Les caractéristiques de la mégadonnée

La mégadonnée dans la pratique

Les 3 propriétés : (Volume, Vitesse, Variété) ont paru, dans un premier temps, pertinentes et suffisantes pour caractériser la mégadonnée. Très vite, il a paru important d'ajouter une quatrième caractéristique, la « Véricité de la donnée ». La course à la recherche de caractéristiques supplémentaires, toutes aussi pertinentes, d'un certain point de vue, les unes que les autres, a fini par provoquer l'ironie de beaucoup d'observateurs.

Si l'usage de grande base de données pour en extraire des analyses est récent dans certains métiers, elle d'une certaine manière ancienne, quoique limitée par la technologie, dans certaines disciplines scientifiques ou certains secteurs économiques parmi lesquels on peut citer la prévision météorologique, la maintenance en conditions opérationnelle des réseaux téléphoniques ou la compensation bancaire.

L'idée générale derrière la mégadonnée consiste à créer des « lacs de données » dans lequel s'accumulent des données brutes qui attendent que des spécialistes de la donnée ou des systèmes d'intelligence artificielle les explorent pour y découvrir des lois et des propriétés dont personne ne soupçonnait parfois même l'existence.

Mégadonnées et bases de données

Par définition, une base de données est un ensemble de données que l'on gère, depuis les travaux **ANSI/SPARC** (vers 1975) en s'appuyant sur trois modèles gigognes : le modèle fonctionnel, le modèle logique et le modèle physique. Le modèle fonctionnel capture « un univers du discours » qui a pour principal objet de résoudre un problème dans un environnement donné. Le modèle logique est une abstraction qui permet d'une part d'unifier les structures, les propriétés et les contraintes de détenteurs d'enjeux dans le cadre de la résolution d'un ensemble de problèmes, d'autre part de formaliser à l'aide de constructeurs qui permettent l'automatisation du traitement des données, dans le cadre de la mise en œuvre d'une technologie de bases de données [32].

Les technologies des bases de données ont évolué dans le temps depuis les **bases de données hiérarchiques** (1965-1975), les **bases de données navigationnelles** (1975-1985), les **bases de données relationnelles** (1985-1995), les **bases de données orientées objet** et les **bases de données plus que relationnelles** (1995-2005), les **bases de données noSQL** (2005-2015), les **bases de données orientées-graphes** et les **bases de données multi-modèles** (2015-). Encore que la taille des bases de données n'a jamais cessé de croître, aucune de ces technologies n'a convaincu de sa capacité à résoudre tous les problèmes que pose la capacité de l'IoT à produire des volumes sans cesse croissant de données à des rythmes toujours plus intensifs. Par ailleurs, le patrimoine existant de données qui sont gérées, dans les applications de l'entreprise, à l'aide technologie relationnelles de bases de données, conditionne à la fois les nouvelles technologies et oblige à considérer celles-ci comme des sources destinées à alimenter les entrepôts de mégadonnées.

Mégadonnées et entrepôts de données

La difficulté des bases de données à traiter efficacement les séries historiques et les données temporelles a provoqué l'émergence et l'usage à grande échelle d'entrepôts de données, dans lesquels les attributs des entités de la base de données sont avant tout considérés comme des mesures à l'usage de différents domaines. Cette approche a permis de d'appliquer aux données des techniques de statistiques descriptive et de les explorer à l'aide de méthodes de navigation par plongées successives qui permettent des accès en profondeur aux propriétés non mesurées des objets. Elle a permis aussi de mettre à la disposition de certains métiers des « Comptoirs de données » qui permettent d'appliquer les mêmes techniques aux ensembles de données les plus pertinents pour leur activité.

Les entrepôts de données permettent néanmoins difficilement de découvrir des aspects imprévus des données.

Lacs et marécages de données

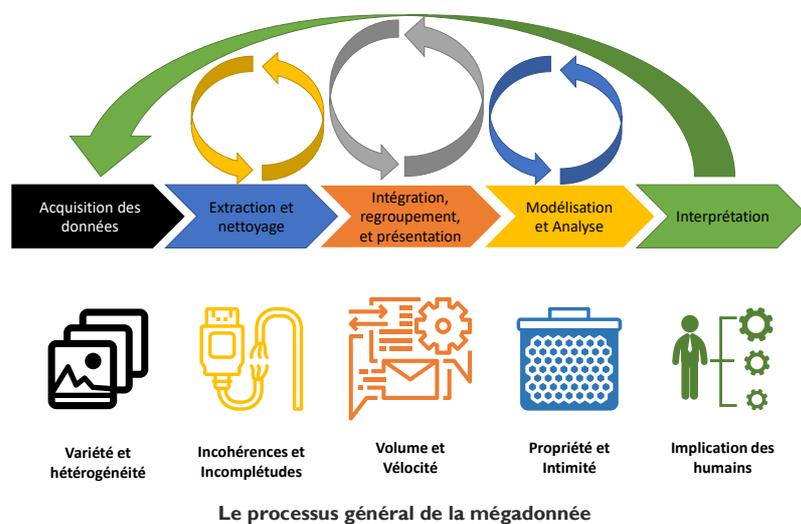
La construction de « lacs de données » brutes, si elle est nécessaire dans certains métiers comme ceux du renseignement, du marketing, de l'information ou des archives publiques ou privées, rentre facilement en conflit d'une part avec leur rentabilité et

d'autre part avec la nécessité, pour une mise en œuvre efficace de l'intelligence artificielle, de considérer toute information sémantique relative aux données elles-mêmes.

Un « lac de données » dont les données ne sont pas, un minimum, étiquetées peut se révéler n'être qu'un « marécage de données » dont on pourra certes tirer des réponses, mais au prix d'un effort qui le rend inefficace du point de vue des chaînes de production de la valeur de l'organisation qui l'utilise.

Par ailleurs, les modèles de données fonctionnels et logiques des bases de données, les modèles des entrepôts et des comptoirs de données capturent divers aspects de la sémantique des données qui permettent la généralisation et l'unification de celle-ci grâce à des techniques linguistiques ou de calculs sur les contraintes.

On admet que l'agrégation des données dans un lac de données doit passer par un processus dont les étapes appliquent des opérations dépendent à la fois des sources de données, des qualités attendues des données et des résultats espérés.



L'architecture du processus global et celles de ses sous-processus mettent nécessairement en œuvre des boucles d'amélioration continue.

La modélisation, notamment par des mécanismes d'apprentissage, permet d'identifier des structures et des règles au sein des mégadonnées, mais cette modélisation est largement facilitée dès lors que l'on fournit, une description ou un étiquetage des données, des métadonnées, que l'on lui demande de traiter. Or ces métadonnées sont souvent connues dès la capture de la donnée elle-même.

Management des connaissances

Généralités

L'application des techniques de la gestion et du management des connaissances dans le cadre des villes intelligentes constitue une discipline nouvelle qui se nourrit des expériences des divers acteurs et détenteurs d'enjeux impliqués dans ce cadre. Une revue systématique des publications relatives à ce sujet, tend à montrer que si la communauté scientifique a commencé à évoquer la question en 1990, la plupart des publications qui s'y intéressent sous divers vocables sont postérieures à 2014, et que leur fréquence a considérablement augmenté depuis 2017 [42].

Encore que l'on puisse en trouver des traces qui remontent à la nuit des temps, la théorie des connaissances est un champ de la recherche qui remonte tout au plus à une trentaine d'années. La plupart de ses applications s'appuient, en théorie, sur un modèle mécaniciste des organisations, conçues chacune comme une structure

Bénéfices espérés dans le cadre de la ville intelligente

dont le fonctionnement est rationnel et qui acquiert des ressources qu'elle transforme pour en tirer des produits, des services et des profits, qui la placent dans une perspective managériale et la rendent indissociables de l'évolution des techniques de management des données (gestion électronique de documents, entrepôts de données, bases de connaissances, etc. ...).

Il est communément admis, dans ce contexte, que le management des connaissances repose sur deux grands types de connaissances : les « connaissances explicites » et les « connaissances implicites ». L'amélioration des processus de management des connaissances repose alors sur la mise en place de sous processus qui permettent de faire émerger les connaissances implicites.

Dans cette approche, l'IoT en général, mais plus encore l'IoT employée dans le cadre de la ville intelligente est susceptible de permettre aux organisations de [43] :

- D'obtenir de manière personnalisée les données les plus pertinentes pour leurs activités.
- D'acquérir auprès de plusieurs sources des données qu'elles peuvent réorganiser à leur grès.
- D'optimiser les collectes de données en fonction des objectifs et des applications.
- D'acquérir, à la demande ou en temps réel, de données nécessaires à la prise de décisions.
- De collecter des données relatives à l'activité des machines, des usagers afin d'améliorer leurs processus et les services qu'elles fournissent.
- D'améliorer la fluidité et l'interopérabilité de son système de management des connaissances.

Limites introduites par l'irruption de systèmes intelligents

Cette approche n'est toutefois pas totalement satisfaisante notamment parce qu'elle paraît postuler une génération spontanée et anarchique de la « connaissance implicite ». Or, l'une des principales caractéristiques des systèmes IoT, et plus encore lorsqu'ils sont destinés à être déployés dans le cadre de villes intelligentes, réside dans le fait que les humains n'y sont désormais plus les seuls producteurs et les seuls consommateurs de connaissances, mais que celles-ci peuvent désormais provenir ou être utilisés par des systèmes numériques « intelligents ».

Un « système intelligent » est fondamentalement un système qui sait prendre un certain nombre de décisions et qui est capable d'expliquer, lorsque la nécessité s'en présente, à un humain ou à un autre « robot numérique » pourquoi il a pris telle ou telle décision. La plupart de ces systèmes sont désormais dotés de capacités d'apprentissage, et à terme d'adapter ou de produire leurs propres procédures. Détenteurs de connaissances parfois représentées dans des structures dont le contenu n'est que très peu accessible aux humains, ils doivent être éventuellement capables de les partager avec des homologues, et d'en communiquer une partie soit à des humains, soit à des robots dont les capacités et les représentations sont différentes.

La nécessité de nouvelles théories de la connaissance

La distinction entre « connaissances explicites » et « connaissances tacites » ébauche une embryonnaire « théorie de la connaissance » qui, en pratique, doit être couplée avec une ontologie qui sert notamment de base à l'identification, à la classification et à l'évaluation des connaissances que l'on entend partager et traiter.

Des difficultés proviennent du fait qu'il n'existe pas une théorie de la connaissance unique susceptible de couvrir tous les besoins du management d'une même organisation, que les modèles micro-économiques qui s'appliquent à des organisations différentes ou à l'activité de différents services d'une même organisation, peuvent impliquer des besoins très différents en termes de connaissances utiles (l'activité d'un producteur/distributeur local d'électricité, par exemple, n'utilise pas les mêmes connaissances selon qu'il agit en tant que distributeur ou en tant que fournisseur. Il n'a pas n'a pas l'usage notamment des

Conséquences sur le management des connaissances dans le cadre des villes intelligentes

connaissances relatives à la production d'électricité par ses propres fournisseurs notamment par d'autres moyens que ceux qui constituent son cœur de métier).

Le management des connaissances possède des aspects stratégiques, légaux, fonctionnels, et techniques. Le point de vue technique prend le pas dans de nombreux travaux relatifs aux bénéfices de la mise en œuvre du management de la connaissance dans le cadre des villes intelligentes parce qu'on tend à confondre, les propriétés des ontologies pratiques (c'est-à-dire les ontologies au sens des technologies de l'information) avec les ontologies au sens de la mise en œuvre de la connaissance et que l'autorité qui organise et arbitre le partage des connaissances est obligatoirement une « autorité municipale » à priori unique et maître d'ouvrage du projet destiné à la ville intelligente dans lequel un certain nombre d'organisations sont impliquées.

L'expérience a de maintes fois démontré qu'un canevas naïf du partage de connaissance de ce type ne satisfait pas nécessairement les objectifs de la gouvernance de l'« autorité municipale » concernée.

Dans des agglomérations dont la croissance est rapide, l'absence de partage des connaissances entre de multiples centres de décisions, les différentes collectivités locales qui composent l'agglomération, a souvent conduit à des prises de décisions irrationnelles dans le cadre du déploiement de services ou d'infrastructures de base (par exemple : la déserte d'une même rue physique par les services environnementaux d'un même opérateur au service de deux communes différentes qui la gèrent comme une impasse parce qu'en pratique, elle s'étend sur deux communes dans lesquelles elle ne porte pas le même nom).

On pourrait penser que de telles contraintes constituent des particularités spécifiques à des pays dont l'histoire en matière de gouvernance locale est ancienne et tend à perpétuer des pratiques de « millefeuille administratif », cher aux médias et aux politiques lorsqu'ils veulent en dénoncer les limites et les effets négatifs. Le modèle ne résiste pas, en pratique, aux besoins que sont susceptibles de rencontrer des projets de villes intelligentes dans des agglomérations comme le Grand Los Angeles qui s'étend sur cinq comtés qui disposent de libertés importantes en matière d'organisation, et encore moins dans le cadre d'une métropole comme Mexico qui s'étend sur le territoire de plusieurs entités fédératives et municipalités constitutionnellement dotées de larges pouvoirs.

Il en vient plusieurs conséquences :

- Il est nécessaire de distinguer, dans le cadre des projets de ville intelligente, les échanges fonctionnels de données supportés par des techniques spécifiques au partage de connaissance et la mise en commun de connaissances qui servent des objectifs à long terme du projet.
- Une base de connaissance, dans le cadre de la ville intelligente, est avant tout le produit de la convergence d'un certain nombre de producteurs de connaissances autour d'une stratégie. Cette stratégie est a priori distincte de la stratégie managériale spécifique à chacun de ces opérateurs. Le partage des connaissances, dans le cadre de la ville intelligente, ne s'exerce pas dans le cadre d'une base unique de connaissances, mais d'une multiplicité de connaissances, dont la réutilisation par un opérateur est relativement libre et simple, mais dont le partage peut être compliqué par les lois, la réglementation ou les pratiques (à titre d'exemple : la propriété foncière en France, comme souvent ailleurs, a plus ou moins le caractère d'une donnée personnelle que son titulaire peut choisir de partager avec un opérateur pour diverses raisons. Mais elle n'est en définitive attestée que par la conservation des hypothèques dans la limite des délais nécessaires à sa capacité du traitement des inscriptions, et seuls des officiers ministériels souvent délégués de missions de service public savent énoncer toutes les contraintes qui affectent un bien foncier donné et maîtrisent les processus qui permettent de les connaître. Il en vient qu'un projet d'aménagement piloté par une « autorité municipale » ne saurait pas vraiment

Modèles pour management des connaissances

partager cette information pour monitorer, par exemple, l'impact de tranches successives du projet sur le contexte dans lequel il s'insère. Ceci ne porte pas préjudice au fait qu'elle est capable de partager le détail de certains aspects de la connaissance dans le cadre d'une base de connaissances, et diverses synthèses ou simulations dans le cadre d'une autre).

- Le partage de connaissances, dans le cadre d'un projet destiné à la ville intelligente s'exerce au service d'une stratégie de partage des connaissances dont l'effectivité peut être monitorée (par exemple au travers d'indicateurs qui évaluent les contributions effectives par rapport aux contributions étendues).
- La base de connaissances partagée doit être placée sous l'autorité d'un opérateur qui garantit les contraintes de confidentialité posées par les lois ou les contrats dont il est convenu avec les contributeurs. Cet opérateur peut être une autorité publique, un délégataire de service public, ou un opérateur privé.
- Le partage des connaissances n'est rentable pour les opérateurs qui entendent partager des connaissances si et seulement s'ils appliquent à leurs échanges de connaissance des normes suffisamment partagées par les autres opérateurs de la communauté.
- Un opérateur qui participe à un ou plusieurs partages de connaissance a tout intérêt à entretenir une cartographie de ces partages qui lui permet de contrôler leur intégration dans ses propres stratégies de management des connaissances.

Le modèle de référence le plus répandu, relatif à la gestion des connaissances, est le modèle « **SECI** » (Socialisation, Externalisation, Combinaison, Intériorisation), qui avait été défini par les chercheurs japonais Ikujiro Nonaka and Hirotaka Takeuchi dans des travaux qu'ils ont publiés en 1995.

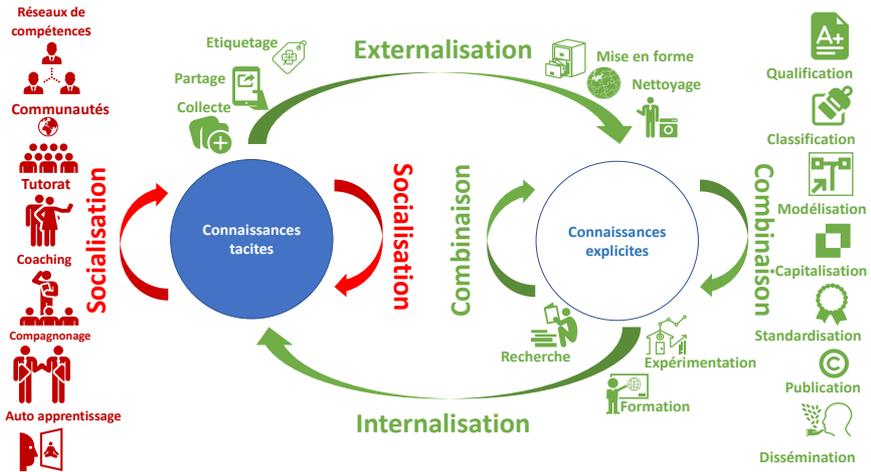
Leur théorie s'appuie sur la distinction entre deux types de connaissances :

- Les connaissances explicites qui sont directement compréhensibles et exprimées, lorsque c'est nécessaire par chacun des acteurs de l'entreprise.
- Les connaissances tacites sont propres aux individus. Elles sont formées à partir des compétences qu'ils ont précédemment acquises, l'application de leurs savoir-faire, et résultent potentiellement de leur créativité ou de leurs aspirations.

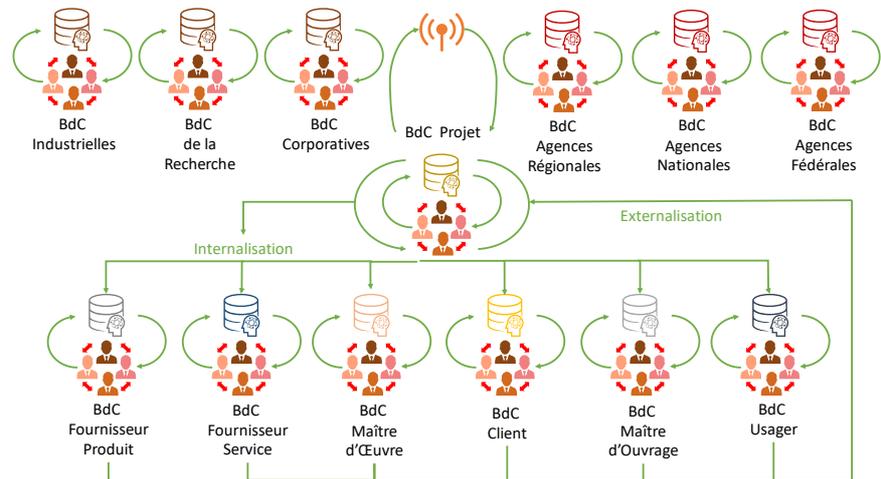
Le modèle permet de structurer comme un « cercle vertueux » les processus d'acquisition et de capitalisation des connaissances.

La distinction de nature épistémologique « connaissance tacite/connaissance explicite » doit toujours être considérée avec circonspection car elle tend à masquer d'autres aspects des connaissances, telles que la coexistence de « connaissances stratégiques » (que l'on ne veut pas divulguer) et de « connaissances incitatives » (dont la promotion facilite l'atteinte d'un objectif).

Par ailleurs, les concepts « connaissance tacite/connaissance explicite » ne sont pas toujours partitifs : l'expérience collective, relative à un sujet, peut comporter simultanément des connaissances explicites et des connaissances tacites.



Ce modèle peut être utilisé pour analyser les échanges de connaissances et les processus qui doivent être mis en place afin d'améliorer l'atteinte d'objectifs dans le cadre de projets et d'organisations plus complexes [48]



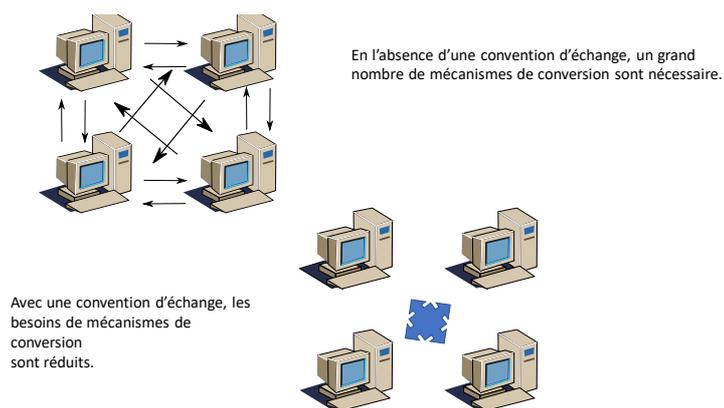
Flux d'échange de connaissances dans un projet de ville intelligente

Quatre facteurs interviennent de manière renforcée dans le cadre de la ville intelligente :

- Le nombre des participants et des sujets induit une explosion du nombre des processus à considérer.
- Le recours à l'**IoT** accélère certains tempos du partage des connaissances.
- Les besoins en matière d'échange des connaissances et les opportunités qu'elles offrent de les exploiter, varient au cours du cycle de vie du projet.
- Les connaissances deviennent des ressources sur lesquelles les acteurs sont capables d'intervenir dans des délais courts. Les aspects capitalisation du management des connaissances perdent un peu de leur importance par rapport au traitement direct des connaissances.

Une manière efficace de démêler la complexité des flux consiste à considérer les connaissances une matière qui constitue l'un des sujets de l'interopérabilité.

Le point de vue qui a été mis en œuvre pour réaliser, à moindre frais, l'interopérabilité entre systèmes informatiques a consisté à s'appuyer sur des conventions d'échange : tous les intervenants au sein d'un même espace d'échanges exportent l'information en appliquant cette convention et leurs correspondants interprètent ce qui leur a été transmis grâce à cette même convention.



Les capacités d'apprentissage des systèmes d'intelligence artificielle laissent entrevoir la possibilité d'autres solutions, voir potentiellement de laisser le système apprenant découvrir lui-même, les mécanismes nécessaires à exploiter les connaissances disponibles dans d'autres systèmes.

Dans la pratique, la mise en œuvre de cette dernière possibilité rencontre quelques écueils. Pour faire simple, les systèmes modernes de management des compétences représentent chacune de celles-ci sous la forme d'un ensemble de prédicats de la logique du premier ordre, réputés vrais et associés à un même identifiant. Une ressource est ainsi décrite par un ensemble de triplets (sujet, prédicat, objet) dans lequel « sujet » est la ressource que l'on veut décrire, « prédicat » le type de la propriété, et « objet » soit une valeur scalaire, soit l'identifiant d'une autre ressource. Le prédicat est toujours une ressource.

Le prédicat permet d'associer la propriété à un nom. Les prédicats sont regroupés dans des ensembles nommés des vocabulaires. Un certain nombre de vocabulaires de base ont été définis qui contiennent les définitions de constructeurs qui permettent de structurer des ensembles de ressources et d'associer entre elles des ressources à l'aide de liens que l'on interprète en fonction d'une convention.

Le **W3C** a défini trois langages : **RDF**, **RDFS** et **OWL** qui permettent de décrire des « ontologies informatiques » sans devoir réinventer l'ensemble des règles de base. Ces langages sont à la base de la technologie **Web of Things** et constituent désormais des standards de fait applicables à de nombreux domaines.

On distingue trois grands types d'ontologies : des « ontologies formelles » qui font l'objet d'une définition rigoureuse et qui servent à établir les distinctions formelles à l'intérieur d'un domaine, des « ontologies de domaine » qui permettent de représenter les connaissances relatives à un ou plusieurs domaines métiers donnés (la géographie, la mécanique, la musique, etc.), et des « ontologies applicatives » qui permettent d'adapter une ou plusieurs ontologies de domaine à un cadre ou à la résolution d'un problème donné.

Pour être utilisable, une ontologie doit néanmoins respecter un certain nombre de règles. Néanmoins, de nombreuses ontologies qui concernent l'**IoT** et les villes intelligentes se révèlent inutilisables parce qu'elles ne satisfont pas certaines règles de base [46] :

- Une bonne partie d'entre-elles ne sont pas effectivement publiées en ligne ou ne respectent pas les conventions qui ont été définies dans les recommandations du **W3C**. Certaines ne sont accessibles que sous la forme de texte enchâssé dans une publication.
- Certaines sont incomplètes car elles comportent des parties qui font l'objet de contraintes de confidentialité.
- Certaines ontologies de domaine ne sont liées avec aucune autre ontologie de domaine, et rendent de fait impossible de relier les concepts qu'elles décrivent avec d'autres sujets.
- Certaines sont disponibles seulement dans un langage national donné ou un sabir, composé d'abréviations, plus ou moins courantes, dans ce même langage.
- Certaines désignent les concepts sous des vocables ambigus ou dont la sémantique est floue.
- Certaines contiennent des erreurs celle qui consiste à représenter comme une propriété ce qui est très souvent un concept autonome dans d'autres ontologies.
- Certaines, enfin, n'ont jamais été validées et contiennent des erreurs de syntaxe.

Les ontologies réellement efficaces, dans le cadre des villes intelligentes, et plus particulièrement dans le domaine des technologies de l'**IoT** qui leurs sont appliquées, sont celles qui sont gérées par une structure dédiée à la normalisation, et dont le processus de revue leur a permis d'atteindre un certain niveau de discussion et de maturité. L'adaptation d'une ontologie à un problème particulier nécessite quelque expertise du domaine et quelques précautions.

L'offre en matière d'outils qui permettent de gérer les ontologies, enfin, reste faible et la qualité de chacun d'entre eux, difficile à évaluer [47]. Ces difficultés ne remettent toutefois pas en cause les avantages que l'on peut des technologies associées aux ontologies soit dans le cadre de l'**IoT** où les systèmes de raisonnement automatique peuvent trouver des champs d'application efficaces, soit dans le cadre de l'échange d'information entre application dont les domaines d'intérêt se recouvrent partiellement.

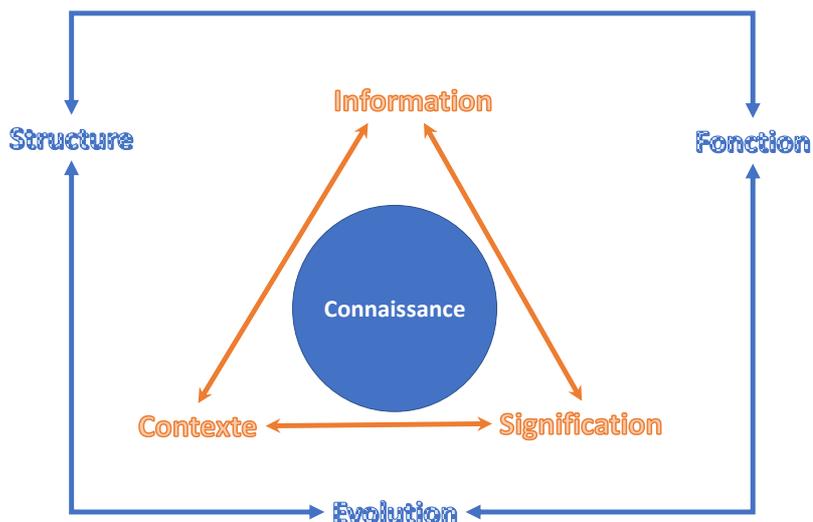
Il est difficile enfin de faire émerger les connaissances implicites d'environnements dans lesquels elles ne sont présentes qu'à titre facultatif. C'est le cas notamment des outils de conception assistée par ordinateur (2D et 3D) qui sont éventuellement capables d'inclure dans leurs modèles des informations (par exemple, les **PMI** – Product Manufacturing Information ou **Données de produit et de fabrication**) dont le concepteur n'a pas réellement l'usage dans le contexte de leur utilisation. Les applications de l'**IoT** dans le cadre des villes intelligentes sont destinées à incorporer un certain nombre de modèles, importés à partir de

Approche systémique des connaissances

formats d'échange (IFC, CityGML, etc.) dont les usages particuliers sont susceptibles d'engendrer des discontinuités dans la disponibilité des connaissances que seul l'usage de méthodes partagées à l'échelle des métiers sont réellement susceptibles d'encadrer [49].

L'approche systémique des connaissances consiste à les considérer décrites, dans l'approche de leur compréhension par :

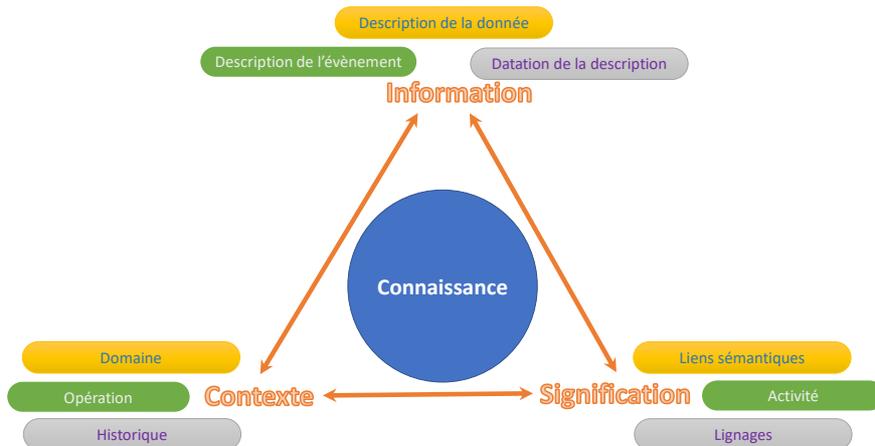
- Une représentation qu'il est convenu d'appeler « information ».
- Un contexte qui conditionne l'interprétation de cette représentation.
- Une signification qui est le résultat de la traduction de la représentation en fonction du contexte par un observateur.



Et à compléter cette approche en les considérant comme une unité qui participe à un système dans lequel elle est caractérisée par :

- Une structure qui décrit de quoi elle est composée.
- Une fonction qui précise en quoi elle consiste.
- Une évolution qui enregistre comment elle change dans le temps.

La combinaison de ces deux aspects permet d'organiser la représentation de la connaissance au travers de neuf cadres [44].



Aspect cognitif	Aspect systémique	Cadre	Description
Information	<i>Structure</i>	Description de la donnée	Un ensemble de signes qu'un observateur est capable d'interpréter.
	<i>Fonction</i>	Description de l'évènement	Un ensemble de signes qui permet d'identifier l'action qui est à l'origine de l'information.
	<i>Évolution</i>	Datation de la description	Un ensemble de signes qui permettent d'ordonner l'information.
Contexte	<i>Structure</i>	Domaine	Une collection d'information dont l'objectif est défini.
	<i>Fonction</i>	Opération	Un ensemble de signes qui permet d'identifier l'opération à laquelle se rapporte l'information dans le cadre du contexte.
	<i>Évolution</i>	Historique	La suite des informations d'un domaine ordonnées à partir de l'interprétation de leur datation au sens de ce domaine.
Signification	<i>Structure</i>	Liens sémantiques	Un ensemble de lien entre des concepts qui représente comment l'observateur interprète l'information.
	<i>Fonction</i>	Activité	Un ensemble de signes et de liens entre eux qui caractérisent le processus au travers duquel on s'intéresse à l'information.
	<i>Évolution</i>	Lignages	Des listes, chacune en rapport avec une ou des concepts, qui décrivent une succession d'informations.

Un exemple simple (élément simplifié de la base Joconde du ministère de la Culture) :

Aspect cognitif	Aspect systémique	Valeur
Information	<i>Structure</i>	Tête zoomorphe
	<i>Fonction</i>	Mise à jour de la notice
	<i>Évolution</i>	09-12-09
Contexte	<i>Structure</i>	Musée de la vallée Barcelonnnette
	<i>Fonction</i>	Conservation, exposition
	<i>Évolution</i>	Achat de la commune de Barcelonnnette en 1997 auprès d'un collectionneur privé.

		Confié au musée de la Vallée en 1997.
Signification	<i>Structure</i>	Sculpture, précolombien, archéologie, Amérique centrale.
	<i>Fonction</i>	Inventaire
	<i>Évolution</i>	Collections des musées de France Collections du musée de la Vallée – Barcelonnette. Collections d'art précolombien en France.

L'expression de la connaissance varie en fonction de l'usage que l'on veut en faire qui détermine notamment le niveau de détail de la description. Les trois aspects (Information, Contexte, Signification) ne sont pas indépendants et leur traitement numérique est dépendant d'expertises métier, des conventions de représentations et des outils nécessaires à celles-ci.

Certaines connaissances sont obligatoirement représentées par un certain nombre de valeurs scalaires organisées en fonction d'une syntaxe donnée. Mais beaucoup d'autres sont mieux représentées à l'aide de modèles paramétriques ou abstraits. Les méthodes de management des connaissances se sont depuis longtemps appuyées sur les méthodes qui avaient été définies afin de supporter la conception des logiciels et la génération automatique de code pilotée par les modèles [45].

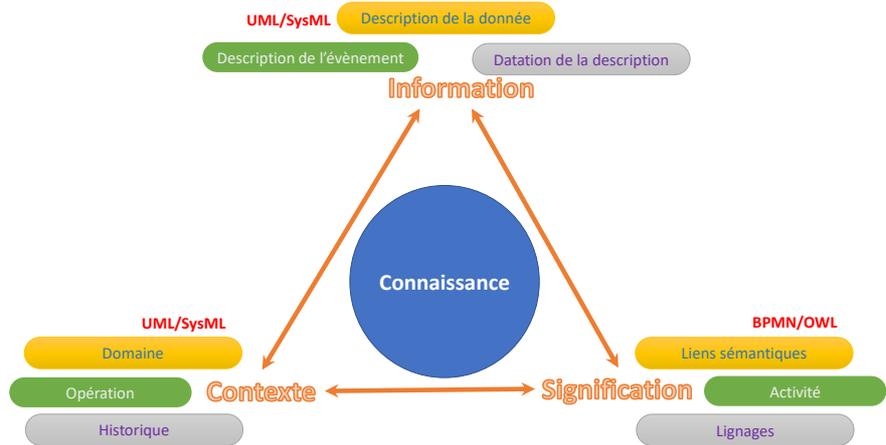
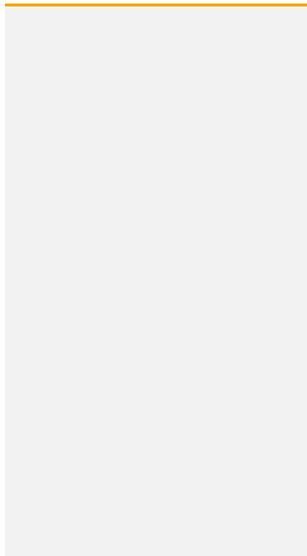
La volonté d'intégrer mieux les aspects sémantiques a fortement influencé l'évolutions des langages de modélisation généraux comme **UML 2** et **SysML**, et engendré de nouvelles techniques de modélisation comme **BPMN2** [52].

La structure, c'est-à-dire la forme plus ou moins élaborée d'une syntaxe, est souvent décrite aujourd'hui, afin de définir le format de l'information et de son contexte, en utilisant les conventions de la technique de modélisation **UML**. Les procédures et les cas d'emploi métiers sont souvent exprimés en aussi en utilisant des diagrammes spécifiques à ce langage de modélisation. Le langage **BPMN** a été conçu pour représenter à haut niveau les processus d'entreprise mais peut aussi servir à modéliser des procédés industriels.

Les versions initiales d'**UML** s'adressaient surtout aux concepteurs de logiciel, avec l'ambition, dans le cadre d'ateliers dédiés de générer le code ou une grande partie du code en le déduisant du modèle. Cet objectif a été partiellement atteint et permet notamment de faciliter des pratiques comme la réingénierie du logiciel. Souvent néanmoins, il est plus facile et économiquement plus efficace de coder directement le langage cible de certaines fonctions car leur description dans un modèle est fortement consommatrice de temps. Ceci a conduit, au fil du temps, à utiliser **UML** et les langages similaires comme support de la spécification détaillée des logiciels, et à en étendre les possibilités.

Le langage de modélisation **SysML** a été conçu comme un frère d'**UML** capable d'aider à modéliser des systèmes et à embarquer dans les modèles, la traçabilité des exigences. **UML** remplace peu à peu, les langages comme **Express** qui avaient été définis pour spécifier les modèles d'échange de données comme **STEP** et **IFC**. Les organisations qui travaillent à l'amélioration de ces standards publient leurs spécifications, de manière plus ou moins complètes, sous la forme de modèles **UML**, de schémas **XML**, et d'ontologie décrites en **OWL**. Ces spécifications tendent, par conséquent, à devenir à la fois des patrons pour structurer de l'information destinée à être utilisée dans des applications de management des connaissances.

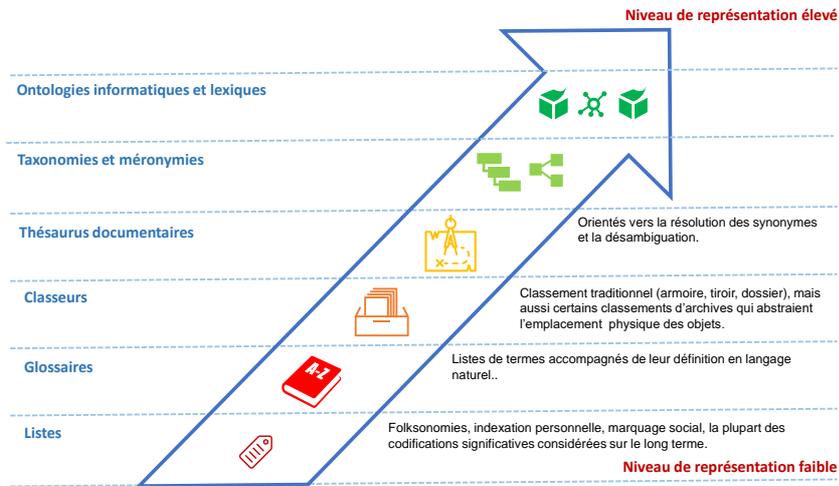
Le schéma ci-dessous illustre, sans préjuger de l'usage ou non de dialectes ou d'autres techniques de modélisation, la possibilité d'utiliser les langages de modélisation dans une approche systémique des connaissances.



Organisation des connaissances

Outils généraux de l'organisation des connaissances

Le besoin de représenter les connaissances n'est pas nouveau et il a suscité, au fil du temps, l'apparition d'outils multiples aux conventions desquelles la dématérialisation des supports s'est, dans un premier temps, adaptée, avant d'en augmenter les fonctionnalités.



Les outils courants de la représentation des connaissances

Outils traditionnels de management des connaissances

Étiquetage personnel

Le besoin de classer est aussi ancien que lui-même et il est assez facile de se rendre compte qu'il a suscité, à toute époque, l'invention de méthodes très variées. Les corpus religieux anciens ont ainsi été organisés soit en fonction de fils historiques, de la longueur des textes, de la chronologie de calendriers cérémoniels, de processus divinatoires, etc.

Parmi les plus utilisées aujourd'hui on trouve principalement les outils suivants:

L'**étiquetage personnel** qui a connu un regain de popularité, au cours des dernières années, au travers du « **balisage social** » (les « **mot-dièses** » de la forme #XXX) fréquents sur les réseaux sociaux. Son utilité reste limitée parce que les

étiquettes son potentiellement source de confusion dans un environnement où plusieurs personnes partagent des connaissances.

Glossaire

Afin de palier certaines de ces difficultés, on peut créer des **glossaires** ont été créés sous la forme de suites d'étiquettes accompagnées d'une définition destinée à lever les doutes de la personne qui réalise le classement. Leur emploi résiste à mal à la diversification des thèmes la collection considérée et parfois aussi à la place que l'on peut réserver à certains dans l'espace de stockage disponible.

Dossier

Les **dossiers**, depuis le cahier de classe par matière, en passant par les composants du trio traditionnel « armoire, tiroir, dossier » jusqu'aux dossiers de nos serveurs de partages de connaissances, constituent des solutions simples à mettre en place et suffisantes dans de nombreuses situations. Leur capacité à structurer la connaissance reste limitée et peut rentrer en conflit avec d'autres contraintes. Ils peuvent néanmoins servir à simuler des solutions plus sophistiquées.

Thésaurus

Les **thésaurus**, constituent une méthode relativement récente car ils ont été inventés pendant les années 1950 comme des méthodes destinées à améliorer l'efficacité des index documentaires, et ont connu leur heure de gloire jusqu'aux années 1970. Un thésaurus documentaire est une liste organisée de termes contrôlés et normalisés qui représentent les concepts d'un domaine de la connaissance. Il constitue un langage documentaire qui a pour principal objectif d'éviter les effets des homonymies, des synonymies et de la polysémie dans les index documentaires [65]. Leur construction fait l'objet de la norme internationale **ISO 25964-4:2011** - « Information et documentation — Thésaurus et interopérabilité avec d'autres vocabulaires - Partie 1: Thésaurus pour la recherche documentaire » et **ISO 25964-2: 2013** - « Information et documentation -- Thésaurus et interopérabilité avec d'autres vocabulaires - Partie 2: Interopérabilité avec d'autres vocabulaires ».

Un exemple de thésaurus qui peut conserver une certaine pertinence dans le cadre des villes intelligentes, parce que toujours d'actualité, est le « Thésaurus des vocabulaires du Ministère de la Culture et de la Communication » qui est utilisé notamment par les Archives de France et les services locaux qui conservent des archives qui appartiennent à l'un dans un certain nombre de fonctions [50].

On les utilise le plus souvent, comme des cas particuliers d'ontologies informatiques. Le thésaurus du ministère de la culture notamment est disponible sous la forme de jeux de ressources **RDF**, en divers formats [50].

Taxonomie

Une « **taxonomie** » (ou « taxonomie » selon une très ancienne recommandation de l'**Académie Française** qui n'a jamais réellement adoptée par l'usage) est une technique de classification des connaissances qui consiste à placer la description d'une connaissance à l'aide d'une information et éventuellement son contexte en tant que feuille d'une arborescence dont les nœuds sont étiquetés par des concepts nommés « taxons ». A chaque taxon, on associe des propriétés que doivent respecter les éléments qui peuvent être placés dans le sous arbre des nœuds et des feuilles qui sont placés sous le nœud que le taxon étiquette.

La première taxonomie historiquement et universellement connue est celle définie et mise au point par le naturaliste Suédois Karl von Linné entre 1735 et 1753, et qui a inspiré non seulement les classifications modernes des êtres vivants, mais tout aussi les systèmes de classement documentaires comme la celle mise au point par Melvil Dewey en 1873 dont descendent de nombreuses classifications documentaires, plus ou moins normalisées, qui sont utilisées aujourd'hui.

Parce que la succession des taxons depuis la racine de la classification jusqu'à la connaissance permet de constituer une marqueuse, il est possible d'utiliser ce chemin d'accès pour caractériser la connaissance elle-même. Diverses techniques syntaxiques permettent de réduire le format de cette caractéristique et on conduit à créer des codifications significatives de classement des documents comme la « **classification décimale de Dewey (CDD)** », la « **classification décimale**

universelle (CDU) » et la « **classification de la bibliothèque du congrès (LCC)** » qui sont encore largement utilisées.

Les structures de dossiers peuvent être utilisées comme des systèmes qui supportent des classifications simples. Dans l'industrie, des classifications fonctionnelles ou morphologique ont longtemps présidé à la codification portée par les étiquettes qu'une pièce porte afin d'assurer son suivi. Elles permettent généralement de retrouver rapidement, les dossiers de conception, de maintenance et de support de la pièce.

Les systèmes de gestion de documents, les systèmes PLM et ERP comprennent aujourd'hui des outils qui permettent l'accès à une information depuis de multiples racines de classification et d'appliquer des règles relativement complexes pour assurer la cohérence de celles-ci.

Dans les systèmes de gestion des connaissances, les taxonomies constituent un type particulier d'ontologie informatique. De nombreuses ontologies qui ont été proposées pour résoudre certains problèmes dans le cadre des villes intelligentes et de l'IoT appliquées aux villes intelligentes sont de simples taxonomies dont les « classes taxons » ne sont associées à aucune contrainte réellement significative.

La relation de taxonomie exprime l'existence d'une association « **est un** » entre un objet ou une classe située plus bas dans l'arbre. Cette relation est transitive : l'objet devient automatiquement membre de tous les ensembles d'objets des classes supérieures.

Méronymie

Une **méronymie** est une relation entre deux types d'objets ou une association entre deux objets dont un observateur peut déduire que le second objet est, d'un certain point de vue, une partie du premier.

Il existe plusieurs sous type de méronymies dont les plus importants sont :

- La **relation d'assemblage** qui établit un rôle fonctionnel du composant dans l'ensemble qui le contient (par exemple, le capteur qui détecte la présence d'une personne dans une porte automatique).
- La **relation d'appartenance** à un ensemble quand elle dépend d'une caractéristique du contexte du sujet et non de ses propriété (par exemple, dans une forêt de sapins, la forêt ne caractérise pas le sapin, mais le sapin qui en tant qu'instance d'une autre classe, caractérise une instance d'une autre classe).
- La **relation de découpage** qui rend compte de la capacité à tirer un certain nombre de parties d'une certaine propriété d'un objet (par exemple, un marché peut contenir x places de surface A et y place de surface B, un gâteau peut donner deux parts standard et une double part).
- La **relation de composition** qui rend compte des possibilités d'existence de l'ensemble en fonction de la présence du composant (par exemple : l'air dans un quartier peut contenir de l'oxygène et des gaz inflammables. L'environnement cesse d'être dangereux si on enlève l'oxygène, mais dans ce cas, on a plus d'air, en revanche, l'environnement cesse d'être dangereux si on retire les gaz inflammables, mais dans ce cas, on a toujours de l'air).
- La **relation d'étape** qui contextualise un évènement (une information) dans un historique plus ou moins détaillé et qui explique certains détails de l'exécution du processus ou du cycle dans lequel un objet est engagé (par exemple : le passage gratuit accordé à titre de récompense, de dédommagement ou de promotion).
- La **relation de dépendance homéomère/anhoméomère** dans laquelle l'existence du composant (homéomère) n'a de sens que dans le contexte du composé (**anhoméomère**) (par exemple, l'oasis est un composant du désert, et l'oasis ne peut exister en dehors d'un désert).

Les méronymies de chacune de ces classes peuvent être sous-classées en fonction d'un certain nombre de propriétés qui, en fonction du contexte, permettent la déduction d'un certain nombre de propriété. Les principales de ces propriétés sont :

- Le type de relation fonctionnelle, c'est-à-dire la dépendance que certaines propriétés ou fonction du composant ont sur une ou des propriétés du composé (dans l'approche géométrique et spatiale, on caractérise cette dépendance au travers des propriétés de forme, d'ajustement et de fonction, dans une approche relative à l'usage de composant dangereux on peut la caractériser par la proportion d'un produit dangereux dans la masse d'un composé à partir de la somme des masses de ce produit dangereux dans ses composants).
- L'homéométrie, c'est-à-dire la manière dont on considère l'identité et la différence des composés dans le composant. Un dallage, par exemple, peut être composé de dalles inertes identiques, ou d'un certain nombre de dalles inertes et de dalles dotées de capteurs.
- La séparabilité qui indique si la séparation des composants détruit ou non le composé ou l'une de ses fonctions. La séparation d'une pièce soudée, par exemple, détruit l'assemblage, le retrait d'une batterie interrompt la ou les fonctions qu'elle supporte).
- La quantification qui se caractérise généralement par une quantité et une unité, mais qui peut aussi être sans pertinence. On peut, par exemple, appliquer de la colle en la considérant comme un consommable dont la consommation n'est pertinente du point de vue d'aucun processus.
- La topologie qui applique diverses normes pour repérer des composants identiques dont le rôle fonctionnel peut néanmoins être différent dans un même ensemble comme, par exemple, deux senseurs qui contrôlent le franchissement de limites dans des directions différentes depuis un même dispositif.

Approchées sous un angle formel, les relations de méronymies paraissent peu intuitives, elles sont néanmoins l'une technique de classement les plus anciennement utilisées : depuis qu'ils existent les registres fiscaux différencient les résidents, les assujettis à l'impôt et les contribuables. Elles sont néanmoins souvent peu intuitives lorsqu'il est question de les gérer et font l'objet de nombreuses règles au sein des processus métier.

Elles sont utiles à de nombreux aspect du traitement des connaissances dans le cadre des villes intelligente, du déploiement et de l'exploitation des techniques de l'IoT dans la ville intelligente. Leur interprétation possède un impact tant au niveau métier, qu'au niveau logique ou au niveau technique de l'architecture IoT. Les dispositifs d'intelligence artificielle parviennent difficilement à produire des connaissances en tant que telle et ne parviennent à la simuler qu'au bout de temps d'apprentissage qui sont très vraisemblablement incompatibles avec la réactivité que l'on attend du système. Les humains qui planifient, gouvernent et réalisent les villes intelligentes connaissent évidemment l'existence de ces relations complexes à propos desquelles ils produisent parfois de pleins classeurs d'instructions applicables. Il existe par conséquent un besoin de trouver des langages qui permettent de modéliser ces dépendances et notamment de représenter comment on adresse le management de leurs aspects temporels.

Pour donner un exemple trivial, les travaux que l'on applique à un pont peuvent nécessiter la mise en place d'itinéraires temporaires qui vont nécessiter le déploiement d'autres capteurs pour monitorer les flots de trafic. Il est par conséquent nécessaire d'informer les systèmes intelligents de la modification que l'on entend apporter à la configuration du réseau et pour qu'elle durée. Mais on ne sait le faire que si l'on a préalablement conçu, décrit et mis effectivement en

Ontologie

place, une description pertinente de la configuration du réseau. Ces configurations sont la plupart du temps décrites à l'aide de relations méronymie.

Les **ontologies** sont des outils qui ont été conçus par la branche de l'intelligence artificielle que l'on nomme symbolique parce qu'elle repose sur l'idée que, comme l'esprit des humains, les ordinateurs manipulent des symboles, et peuvent construire des représentations du monde réel et procéder à des manipulations caractéristiques de l'intelligence. Ces représentations sont à la fois compréhensibles par les humains et manipulables par des systèmes, en appliquant des règles de manipulation définies sur les symboles de ces représentations et dont l'interprétation reproduit, par exemple, un raisonnement donné [53].

L'intelligence artificielle possède une autre branche, dont les techniques se basent sur les mécanismes d'apprentissages et qui jouit d'une grande popularité parmi les technologies destinées aux villes intelligentes car elles ont démontré, depuis longtemps, leur capacité et leur efficacité à résoudre certaines classes de problèmes, notamment ceux qui sont associés au traitement en temps réel de signaux qui sont collectés en grand nombre et avec une haute fréquence, et un certain nombre de ceux qui résistent à d'autres techniques dans le domaine de la linguistique [54].

Les technologies de ces deux classes présentent évidemment un intérêt et il est sans doute plus opportun d'apprendre à utiliser leurs qualités respectives que d'attendre qu'elles parviennent à converger.

Au sens de la philosophie l'ontologie est « la partie de la philosophie qui a pour objet l'élucidation du sens de l'être considéré simultanément en tant qu'être général, abstrait, essentiel et en tant qu'être singulier, concret, existentiel. [55] ». Par extension, une ontologie est « Une conception ou visée particulière de l'ontologie ; un système ontologique particulier ou problématique ontologique particulière. [55] ».

Le terme à terme a été adopté par les experts des domaines de l'intelligence artificielle, mais n'a en fait que la valeur d'une métaphore : les « ontologies informatiques » ne sont pas des moyens qui pourraient d'une manière ou d'une autre prospecter l'essence des connaissances, mais plutôt des outils dont l'approche est surtout empirique, qui sont destinés à aider les humains à s'orienter au sein des multiples représentations d'une même connaissance ou de connaissances de même type auxquelles ils sont susceptibles d'être confrontés (pour faire simple : détecter que lorsqu'il est question d'un « matou », il est bien question d'un « chat », et que les caractéristiques du « matou » recouvrent bien les propriétés qui caractérisent un « chat »).

Elles s'appuient sur une représentation des connaissances sous la forme de triplets (sujet, prédicat, objet) que l'on peut interpréter soit comme une formule de la logique du premier ordre « \exists objet, prédicat (objet sujet,) » (il existe un objet tel que le prédicat est vrai qui pour cet objet à l'égard de ce sujet) ou comme un arc dans un graphe orienté : sujet – prédicat -> objet.

Encore qu'il existe quantité de manière de représenter de tels réseaux, la plus répandue aujourd'hui a été définie par le **W3C** dans la spécification **RDF** [56].

RDF représente chaque élément du graphe de connaissance par un triplet dont le sujet et le prédicat sont des International Resource Identifier (**IRI**) et l'objet, soit un IRI, soit un élément lexical dont le type est emprunté à la norme XSD, relative aux schémas XML, avec quelques restrictions. Un IRI, pour faire simple est une adresse internet semblable aux adresses internet traditionnelles qui ont été généralisées et qui peuvent utiliser les caractères internationaux de la norme **UTF8**. On peut ainsi associer à un sujet, au travers d'un prédicat, soit une valeur scalaire, soit un autre objet.

Le W3C a défini aussi des syntaxes qui permettent de représenter des ressources RDF de manière pratique dont les principaux sont **RDF/XML**, **Turtle** et **JSON-LD**.

```
@prefix vocab: <http://www.minnd.org/vocabulaire/>.
@prefix docs : <http://www.minnd.org/documents/>.
@prefix annu: <http://www.minnd.org/annuaire/>.

docs:livre_blanc vocab:titre "Livre blanc villes intelligentes".
docs:livre_blanc vocab:editeur annu :pierre.dupont.
```

Exemple (simplifié) de triplets RDF en format turtle

Les prédicats peuvent ainsi être regroupés dans des « vocabulaires » qui évitent d’en redéfinir à chaque fois les concepts. Le W3C a ainsi défini un vocabulaire nommé **RDFS** (RDF Schema) qui définit des termes de base nécessaires pour modéliser les connaissances. RDFS est un vocabulaire minimal, qui a été conçu pour supporter des inférences et dont les caractéristiques sont très différentes de celles que l’on entend habituellement pour les bases de données [58].

OWL (Web Ontology Language) a été défini comme une extension de RDFS, et a introduit des concepts comme celui de « restriction » qui peuvent paraître exprimer des contraintes, mais qui précisent en réalité l’information que l’on peut inférer à propos des données.

Lorsque l’on spécifie en OWL qui restreint le nombre des mères d’une personne, et s’il existe une personne qui a deux mères dans la base de données, le moteur d’inférence en déduit simplement que cette mère est décrite par deux sujets différents, mais qu’il s’agit d’une personne unique.

Il n’est pas possible en fait de construire un processeur OWL qui saurait dire ou prédire si une instance d’un objet qu’on lui soumet est « conforme au schéma » au sens où on l’entend dans un validateur XML basé sur XSD (XML Schema Definition).

OWL a été conçu pour opérer dans le cadre du web, c’est-à-dire dans un « monde ouvert » dans lequel une ressource, présente sur un serveur, est associée à des ressources stockées sur d’autres serveurs, mais dans chaque serveur n’est pas en mesure de présumer quelles propriétés de chaque ressource sont effectivement gérées par le serveur qui la détient. Une conséquence de ce principe est qu’une application basée sur OWL ne peut pas déduire l’invalidité d’une ressource en se basant sur le fait que celle-ci est incomplète : l’information manquante est susceptible de pouvoir être déduite ou complétée à n’importe quel moment [59].

Ce principe du « monde ouvert » est très souvent encore présenté comme le plus grand avantage des ontologies informatique, mais n’a, en pratique, pas vraiment résisté aux besoins exprimés par les utilisateurs des applications réelles. La possibilité d’affirmer la validité d’une ressource est à l’évidence un cas d’usage important pour les applications pratique des ontologies informatiques. Certains outils et certaines applications ont simplement ignoré ou demandé de confirmer certaines inférences possibles.

Un certain nombre d’initiatives ou d’implémentations propriétaires ont développé des langages qui permettent de spécifier des contraintes relatives aux ressources, notamment :

- **ReSh:** ReSh est un langage de description de contraintes qui est inclus dans le noyau de la spécification **OSLC 2.0**, La spécification OSLC a été conçue par les services de recherche d’IBM afin de permettre à sa solution **ALM** d’échanger des informations avec les applications d’entreprise, notamment les solutions **PLM** et **SLM**. Le point faible de ReSh réside dans sa capacité

d'expression limitée. Les équipes qui avaient réalisé la spécification ont alimenté en exigences et en cas d'utilisation le comité du W3C chargé de la définition de la recommandation SHACL. La spécifications OSLC est aujourd'hui gérée par l'organisation de normalisation **OASIS**. Elle décrit, grâce à des interfaces de découverte, les informations qu'une application qui l'implémente sait échanger avec d'autres.

- **ShEx**: ShEx est un langage, pourvu d'une syntaxe qui lui est propre, qui permet de structurer le schéma d'un graphe de ressources RDF. L'initiative est supportée par un groupe d'intérêt au sein du W3C, mais n'a pas fait l'objet d'une recommandation de celui-ci [57].
- **SHACL** : Shapes Constraint Language (SHACL [61]) est un langage qui décrit les contraintes qu'un graphe de ressources RDF (appelées nœuds) doit respecter. Il regroupe les contraintes dans des « gabarits² (shapes) » qui décrivent les conditions qu'un nœud RDF doit respecter.

SHACL définit un vocabulaire qui lui est propre (un moule est décrit par un nœud « sh:shape ») qui s'appuie sur les vocabulaires RDF et RDFS pour décrire des types, des classes, des listes de propriétés et des ressources).

Le tableau ci-dessous compare les principales caractéristiques de ces trois outils [62].

Caractéristique	ReSh	ShEx	SHACL
Capacité d'expression	↔	↗	↗
Syntaxe RDF/XML	✓	✗	✓
Forme déclarative	✓	✓	✓
Outillage	✓	✓	✓
Environnement de test	✗	✓	✓

OWL permet, dans la mesure où l'ontologie est syntaxiquement bien décrite, de garantir que les raisonneurs pourront l'exploiter et fournir les connaissances qu'ils découvrent dans des délais raisonnables [63].

OWL et SHACL peuvent être combinés tout en conservant les capacités d'inférence et de contrôle de chacun de ces langages. Une fonctionnalité importante de SHACL consiste à permettre de définir des règles que l'on exprime sous la forme de requêtes du langage SPARQL [63].

Les ontologies peuvent être utilisées pour réaliser des thésaurus, des taxonomies ou des méronymies.

Lexique

Les **lexiques** sont des cas particuliers d'ontologies qui comprennent des règles complexes et qui appartiennent à la famille, que l'on peut présumer immense, des ontologies applicables à la linguistique. Leur nature est par nature ambiguë car ils ont pour fonction première de classer des constructions lexicales, du point de vue d'un système de représentation, la plupart du temps visuel ou sonore, avec un ou des concepts potentiellement décrits par des constructions lexicales d'un système de représentation identique ou différent qui peuvent elles-mêmes être sujettes à des transformations comme les transpositions, les détournement de sens ou les interprétations contextualisées (dont le terme ontologie est lui-même un exemple).

Le domaine du langage comporte deux grandes classes d'ontologies :

² la traduction n'est pas standard. On emploie fréquemment le mot « cadre » [65] qui provient de la notion de « frame » définie par Marvin Minsky ou les notions de « script » - au sens des métiers de la mise en scène - ou de « scénario » [64] qui sont plus exacts, mais prêtent à confusion].

- Les **ontologies métalinguistiques** qui définissent les concepts descriptifs des langues à leurs divers niveaux de fonctionnement (lexical, syntaxique, morphologique, phonologique).
- Les **ontologies linguistiques** qui décrivent le vocabulaire d'une langue dont les lexiques constituent une sous-classe.

Deux champs d'application sont producteurs d'ontologies linguistiques :

- La lexicologie qui étudie les composants de la langue courante (mots, expressions, construction) à un instant donné (point de vue synchronique) et dans les perspectives de son évolution (point de vue diachronique) sur le plan de la signification, de la forme, de la syntaxe et de l'utilisation. Elle opère l'association syntaxique et sémantique au niveau du sens littéral (dénotation) et des ampliations de ce sens littéral (connotation) [68].

La lexicologie produit des ontologies dont on peut trouver un exemple dans la base de données lexicales **WordNet** développée à l'Université de Princeton et les bases de données lexicales qui en sont dérivées ou s'en sont inspirées [66], [67, p. 1177].

- La terminologie qui définit des termes en attribuant une ou des désignations à un objet réel ou abstrait dans un contexte, dans un domaine particulier et éventuellement à une date donnée. La désignation peut être un mot simple, un mot composé ou un syntagme complexe. Afin de pouvoir nommer de manière rationnelle ou relativement rationnelle les objets, elle les catégorise à l'aide de concepts. Un concept est l'ensemble de caractères correspondant aux propriétés d'un objet que l'on désigne au moyen d'un terme. La terminologie identifie, rassemble et analyse les concepts dans le cadre de points de vue et de domaines conceptuels ou fonctionnels [68].

La métaphore philosophique joue un rôle trompeur en matière d'ontologies informatiques destinées à l'IoT et aux villes intelligentes car quoiqu'il s'agisse en réalité toujours de terminologie, elle tend à faire croire que l'intelligence ou son émulation, trouveraient leur solution dans la lexicologie.

Du point de vue de l'épistémologie du management de la connaissance, l'ontologie, en philosophie, est un compartiment de la métaphysique (la science de l'Être en tant qu'Être), qui définit en effet comme la « science de l'Être ». Néanmoins, le rôle des sciences et de leur application, la technologie, reste précisément de rompre avec la métaphysique en définissant et en structurant de façon critique et réflexive des domaines d'objectivité.

Privilégier, dans le discours, la dimension métaphysique tend à surévaluer les aspects statiques de la connaissance (l'être, la substance, l'unicité, l'intemporalité, l'invariance) et à négliger les aspects dynamiques qui sont en opposition (le faire, les accidents, la multiplicité, la temporalité, la variation). La conséquence du fait que l'on privilégie l'être par rapport au faire, conduit à accumuler les noms au sein de l'ontologie et à négliger le cycle de vie des objets et les processus qui les inscrivent dans la temporalité [69].

Du point de vue pratique, et particulièrement dans le cadre des villes intelligentes, on est d'abord amené à raisonner dans le cadre de la terminologie.

Pour donner un exemple simple, le Code Français de l'Urbanisme définit un « lexique national de l'urbanisme » qui définit les principaux termes utilisés dans le livre 1^{er} du code de l'urbanisme [71]. Bien qu'on le présente comme un « lexique », ce document pose en réalité une terminologie que l'on peine à renvoyer à une « ontologie de domaine » puisque, par définition, la gouvernance, le bénéficiaire et le maître d'œuvre du projet doivent en faire partager les concepts par l'ensemble des acteurs du projet afin de garantir la bonne application du code et des règlements qui en découlent.

Ontologies et multilinguisme

D'une part, il convient de raisonner dans les termes de cette terminologie, et d'autre part, il faut en associer les termes avec ceux des ontologies de domaine que les autres parties prenantes du projet qui, qu'ils soient impliqués en tant que réalisateurs ou même en tant qu'évaluateurs ou critiques des conséquences politiques que n'importe quel cadre ontologiques ne manque pas d'avoir, n'en sont pas moins porteurs d'exigences (« l'état de l'art » existe même dans les domaines de la critique ou de la contestation).

Du point de vue théorique d'ailleurs, l'approche lexicologique tend plus à amplifier la problématique qu'à le résoudre : beaucoup de projets de villes intelligentes, sont de fait impliqués dans des contextes où la compétence juridictionnelle est partagée entre des autorités différentes et la terminologie applicable soit provient d'une entité fédérale ou confédérale, soit est un amalgame des terminologies des diverses entités qui ont compétence réglementaire dans le territoire où le projet est déployé. (par exemple : les provinces canadiennes, les régions autonomes comme le Val d'Aoste ou le Haut Adige et Trentin en Italie sont contraintes à publier des terminologies bilingues ou trilingues, Il existe dans certaines régions italiennes des personnes de droit moral, comme les « regole » de Vénétie, dont le statut est défini dans le cadre de lois régionales, la loi nationale définit seulement les rapports qu'entretiennent une classe de structures similaires avec les corps détenteurs des pouvoirs et des fonctions régaliennes [70]).

Le problème, dans le monde réel se résout, en grande partie, autrement, dans la vie de tous les jours, la majorité des humains jonglent avec plusieurs ontologies grammaticales dont ils associent les termes ou les concepts exprimés avec les éléments d'ontologies conceptuelles dont la désignation n'existe pas nécessairement dans toutes les langues qu'ils utilisent [72].

La problématique topologique reste limitée tant qu'il n'est question que de classement des connaissances. Elle devient rapidement inextricable quand il s'agit de faits. Les descriptions géographiques de lieux présentes dans wikidata, par exemple, sont réputés aujourd'hui inutilisables à cause d'un certain nombre de confusions, notamment parce qu'il est fréquent qu'un même nom serve à désigner deux ou trois instances de concepts comme la municipalité, l'agglomération, et le chef-lieu de la municipalité. Les efforts nécessaires à la classification paraissent disproportionnés en regard des résultats obtenus et de leur fiabilité [73], [74], [75] alors qu'il existe des nomenclatures, mises au point par des agences, comme les instituts statistiques nationaux, qui, si elles sont susceptibles d'être discutées du point de vue de la pertinence ou des objectifs concrets, n'en fournissent pas moins de l'information avec plus d'efficacité.

Le problème est, par ailleurs, compliqué par le fait qu'OWL n'est pas outillé pour traiter des problèmes syntaxiques. Beaucoup de bases de données existantes ont été créées à des époques où les systèmes informatiques ne savaient pas traiter correctement l'ensemble des alphabets utilisés dans le monde. Le simple traitement des lettres accentuées du Français, de l'Allemand et de l'Espagnol reste parfois problématique dans les bases de connaissances (voir, par exemple, les règles applicables aux alias des éléments dans l'ontologie CASE qui doivent contenir seulement des caractères du jeu de caractère ASCII de base [76]).

Dans le cadre des applications destinées aux villes intelligentes, les problèmes liés au multilinguisme et à la multi scripturalité sont multiples parce qu'elles ne concernent pas seulement la topographie, mais aussi le nom des acteurs ou des bénéficiaires (qui obéissent généralement à des règles différentes selon qu'il s'agit de personnes physiques morales), à la désignation des équipements, voire à des concepts généraux (par exemple : « aire de stationnement » - en France -, « parc de stationnement », « stationnement » - au Québec -, « aire de parcage » - en Belgique, et surtout en Suisse, recouvrent le même concept en français [81], « Coche » [77], [79] en Espagne et « Carro » [78], [80] au Mexique désignent habituellement une automobile ou un wagon de train). Si l'on peut présumer qu'un

grand nombre de locuteurs des langues précitées, sont capables d'intégrer facilement de telles différences régionales, il est difficile de supposer que tous le feront ou même que tous seront systématiquement dans un état psychologique où cette assimilation est instantanément possible.

Le sujet possède une importance dans le cadre de nombreuses activités de la ville intelligente. Des exemples non exhaustifs sont les suivants :

- Pouvoir renseigner, en situation d'urgence, les parents ou les amis de visiteurs étrangers ou de participants à un événement culturel ou sportif de grande dimension, sur le fait qu'ils sont en sécurité et à partir de quand ils pourront être joints à nouveau, alors que ceux-ci les recherchent en mentionnant leur nom tel qu'il est représenté dans le système d'écriture utilisé sur le lieu de leur résidence ordinaire.
- Permettre de déclarer simplement la perte de documents officiels ou effectuer une déclaration de sinistre.
- Pouvoir informer les clients d'un commerce ou d'un service, comme une conférence, que des messages ont été laissés à leur intention auprès de la réception ou d'un kiosque d'information.
- Pouvoir évaluer la dépendance d'une organisation à l'égard d'un équipementier qu'elle ne connaît qu'au travers de systèmes qui lui sont fournis par des intégrateurs.

Résoudre facilement ce type de question devient d'autant plus facile que les humains sont désormais, le plus souvent, en possession d'appareils plus ou moins complexes tel que les documents d'identité dotés de propriétés numériques ou les téléphones, qui permettent de s'affranchir de l'écriture ou de la saisie par des procédés plus ou moins mécaniques.

On remarquera qu'un certain nombre de ces informations constituent des « données » personnelles font l'objet d'interdictions légales tant du point de vue de la durée de leur conservation que de leur échange au nom de principes juridiques comme le « respect de la vie privée », la « sécurité des données personnelles » ou le « droit à l'oubli » qui font l'objet d'une vigilance des autorités de tutelle (les démêlés fréquents de la Commission pour la Protection des Données de la République d'Irlande avec les filiales des GAFAs installées sur le territoire sous sa juridiction constituent des symptômes de ces problèmes [82]). La définition de ce qui est ou de ce qui n'est pas une donnée personnelle dépend d'une terminologie juridique, et non d'une sémantique générale de nature philosophique. Les limitations légales de leur détention, en toute rigueur, s'appliquent aussi à certains faits ou informations qu'un système d'intelligence artificiel est susceptible de déduire, et contredit quelque part, le principe du « monde ouvert ».

Les recommandations du W3C, et notamment la spécification RDF, imposent de déclarer explicitement les propriétés qui sont destinées à recevoir des chaînes de caractères dont la langue est déclarée [56, § 3.3] et renvoient pour la syntaxe de cette déclaration à des spécifications dont le statut normatif est mal affirmé [83], notamment parce qu'elles s'appuient sur des normes ISO susceptibles d'évolutions, mais dont elles ne gèrent pas la configuration. Cet état est nuisible à l'égard de l'interopérabilité des ontologies et de fait, de nombreuses ontologies d'usage général ne prennent nullement les problèmes relatifs à la prise en compte de plusieurs langues, ni de plusieurs systèmes d'écriture, même simples.

Une application qui repose sur une ontologie comme **wikidata**, qui sert d'autorité d'identification pour un certain nombre de bases **wikipedia** rédigées en langue locale, résout partiellement ce problème en s'appuyant sur les fonctionnalités du langage **SPARQL** qui permettent d'effectuer des requêtes parallèlement sur plusieurs serveurs de données liées en s'appuyant sur le concept de service.

```

SELECT ?country ?label (lang(?label) as ?label_lang)
?countryLabel
WHERE
{
  ?country wdt:P31 wd:Q6256.
  ?country rdfs:label ?label .
  SERVICE wikibase:label
    { bd:serviceParam wikibase:language "en". }
}

```

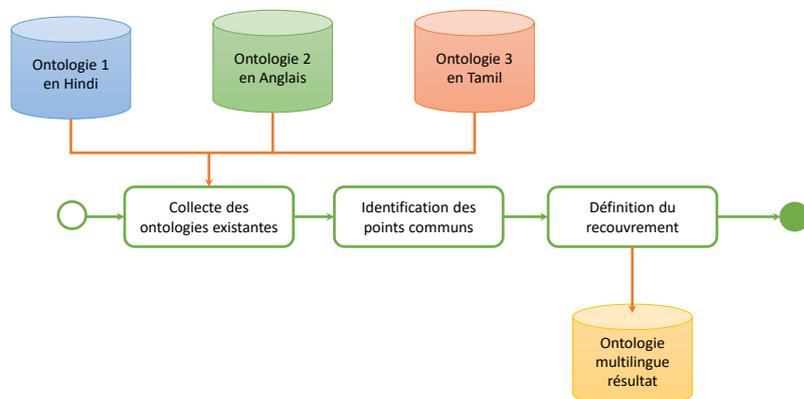
Exemple de requête SPARQL traitant des noms en langage national ou régional dans wikidata

country	label	label_lang	countryLabel
wd:Q16	كانادا	fa	Canada
wd:Q16	კანადა	ka	Canada
wd:Q16	Kanada	sh	Canada
wd:Q16	Канада	sr	Canada
wd:Q16	კანადა	xmf	Canada

Extrait des résultats de la requête ci-dessus.

La solution utilisée par **wikipedia** consiste à appeler le service qui est encapsulé dans la syntaxe **SERVICE**. La seule contrainte qui affecte ce service est qu'il se comporte comme un point d'entrée à l'égard du protocole **SPARQL**. Dès qu'il est question de services plus ciblés, les recommandations du **W3C** semblent pouvoir se prêter à de nombreux bricolages probablement dommageables à l'égard des objectifs d'interopérabilité.

Une solution alternative consiste à développer des ontologies qui sont conçues dès l'origine pour être multilingues.



Ce modèle, qui a été adopté avec succès pour le développement de plusieurs ontologies reste en réalité très théorique. Jusqu'à une date récente, la plupart des éditeurs RDF, RDFS et OWL ne permettaient l'usage contrôlé que d'une seule langue : l'anglais. L'application de la méthode se résumait à développer l'ontologie en anglais et à traduire, en s'appuyant sur les lexiques existants, notamment ceux qui proviennent des technologies du traitement automatique des langues naturel afin de traduire les valeurs d'une liste prédéfinie de propriétés.

La méthode a ses limites car, de la même manière que dans le traitement du langage naturel, il existe deux grandes catégories de lexèmes : les noms communs et les noms propres. Chacune posant des problèmes assez différents.

La traduction des noms communs, pertinente pour une activité, n'est pas nécessairement que l'on appliquerait à la littérature ou aux écrits de la communication contemporains. Dans le domaine de l'avionique, par exemple, il est recommandé de rédiger les notices de maintenance en utilisant un lexique anglais qui tente au mieux d'exclure les mots dont le sens peut être ambigu ou qui sont trop polysémiques, et une syntaxe simplifiée. Ce « **Simplified English** » a été défini par **Boing** qui fournit et maintient un certain nombre d'outils qui permettent d'appliquer le dictionnaire et les règles. Il existe au moins un « **Français simplifié** » et un « **Espagnol simplifié** ». qui ont été définis à l'intention des métiers de l'Avionique, mais parce qu'il n'existe que peu de demandeurs de documentation dans ces langues, les documents normatifs qui les décrivent n'ont pas fait l'objet de mise à jour récentes et il n'existe pas d'outils sur étagère qui permettraient de contrôler leur application.

Le besoin de données géolocalisées

Généralités

L'information géographique décrit les rapports entre des objets, des êtres vivants, des sociétés, des phénomènes physiques et un ou des territoires. La localisation du sujet est une donnée centrale des attentes fonctionnelles des utilisateurs à son égard. Les utilisateurs. Ceux-ci attendent d'un système qui collecte et gère de l'information géographique qu'il réponde à des questions comme : est-ce que tel objet est voisin de tel autre, quelle surface est affectée par un certain phénomène, comment se superposent des phénomènes qui deux surfaces a priori distinctes, etc. Les raisonnements, les décisions, et les activités de l'homme, aussi bien dans la vie de tous les jours que dans l'exercice de nombreux métiers dépendent de représentations géographiques de portions du monde qui dépassent, la plupart du temps, sa capacité de perception naturelle [34].

Le moyen qui a été traditionnellement utilisé pour stocker l'information géographique est la carte qui permet en outre des raisonnements sur cette information, comme concevoir un itinéraire, choisir l'emplacement d'un équipement ou l'espace dans lequel va se dérouler une activité [34].

Depuis plus de trente ans maintenant, diverses entreprises et organisations, dont les principales sont les Instituts Géographiques Nationaux, ont entrepris de bâtir des bases de données géographiques et développer des services, destinés à divers usagers, pour les exploiter. Initialement conçues pour faciliter la réalisation des cartes, elles ont démontré leur capacité à pouvoir gérer des informations qui ne sont pas destinées à figurer sur une carte ou à permettre de produire d'autres représentations destinées à soutenir des activités particulières [34].

Dans un premier temps, chacun de ces organismes a eu tendance à constituer un patrimoine de données géographiques adapté à ses objectifs et à ses activités, sans trop se soucier de les partager avec d'éventuels partenaires. Les gestionnaires de ces systèmes ont rapidement pris la mesure des coûts qu'induisent la collecte et la mise à jour régulière des données dès lors qu'elles servent principalement de

support à la prise de décisions. L'amortissement de ces charges a induit le développement de partenariats qui permettent en outre de mieux valoriser ses données en les combinant avec celles produites par d'autres organismes [35].

Le développement des technologies Internet de traitement de données géographiques, et la prise de conscience par les autorités politiques de la nécessité d'en organiser les marchés, ont fait évoluer le domaine sans toutefois résoudre tous les problèmes relatifs à la propriété des données et à la fluidité de leurs échanges [35].

Jusqu'en 2005, les marchés de l'information géographique restaient l'affaire de spécialistes et tournés vers des audiences professionnelles, encore que la plupart de leurs acteurs importants étaient organisés de manière à atteindre un marché global. La croissance rapide des services de calcul d'itinéraires et de visite virtuelle offerts par les géants de l'indexation de données, le développement de services d'information dans le cadre d'encyclopédie en ligne, ont popularisé certains aspects technologiques des bases de données géographiques (la création en 2004, à l'University College de Londres, de la communauté **OpenStreetMap** est un symptôme de cette évolution) [35].

Les services géomatiques de l'internet mettent à la disposition des utilisateurs des données organisées sous forme de couches d'information géographique (images aériennes, plans routiers, etc.), des fonctions logicielles de visualisation et d'interrogation, et des interfaces de programmation qui permettent de développer des applications personnalisées. Ils facilitent l'insertion dans les sites internet des fonctions de géomatique à usage public, associatif ou privé [35].

Parce qu'ils servent d'infrastructure aux services de géolocalisation associés aux interfaces mobiles qui se sont développées en parallèle, les services géomatiques de l'internet ont mis cet aspect de l'information géographique au centre du sujet. Ces services de géolocalisation sont intégrés aux dispositifs mobiles (téléphone, tablettes, ordinateurs, etc.) et s'appuient sur des technologies diverses (GNSS/GPS, Wifi, Bluetooth, UWB, etc.) pour offrir aux utilisateurs, en plus de la grande fonction traditionnelle des référentiels d'information géographique qui explorer le monde depuis la carte, celle qui permet d'explorer la connaissance du monde à partir de l'endroit précis où l'observateur se trouve actuellement. Les applications IoT destinées aux villes intelligentes ne peuvent désormais ignorer cet usage [35].

Les cartes, depuis qu'elles existent, mais surtout les « données géospaciales » qu'on leur associe, sont des objets ambigus qui portent notamment des enjeux relatifs à l'exercice du pouvoir ou de droits fondamentaux [39]. La démocratisation des représentations dérivées vient certes conforter des démarches qui se revendiquent militantes comme la « contre-cartographie [38] », et si elle encourage des cercles vertueux qui permettent de s'intéresser à des aspects pratiques, sociaux, environnementaux ou mémoriels jusqu'ici négligés [41], faute d'intérêt ou de moyens par les diverses autorités [37], sollicite aussi des usages malveillants ou mal informés des mêmes technologies ou techniques [40].

L'IoT dans la ville intelligente est susceptible d'être plus encore sujette à des distorsions de l'information tant du point de vue de la confidentialité que du point de vue de l'intégrité car personne n'a évidemment aujourd'hui l'expérience du vieillissement des infrastructure qu'elle met en œuvre. Il est, par conséquent, nécessaire de mettre en œuvre des méthodes qui permettent d'appuyer la qualité et son appréciation des données sur des bases solides.

Importance de la métadonnées

Généralités

On appelle « métadonnées », l'ensemble des données qui décrivent des données. Il est néanmoins nécessaire de préciser cette définition intuitive car elle est susceptible de nombreuses interprétations.

INSPIRE

Les bibliothécaires et les archivistes des institutions publiques ou privées ont été historiquement les premiers qui ont formalisé les données qui permettent de gérer

Le Parlement et le Conseil de l'Union Européenne sont intervenus, au travers de la directive **INSPIRE** (Directive 2007/2/CE), du 14 mars 2007, pour définir les lignes guides et les processus destinés à créer une infrastructure de données géographiques, capable de soutenir, à l'échelle de l'Union, les politiques environnementales de celle-ci [36].

La directive **INSPIRE** notamment l'accent sur les métadonnées qu'elle définit comme « *l'information décrivant les séries et services de données géographiques et rendant possible leur recherche, leur inventaire et leur utilisation* ». Ce triple objectif introduit néanmoins une certaine confusion dans ce que tout un chacun perçoit comme étant une « métadonnée ».

5.4 Cadre juridique Européen

Les directives Européennes

Généralités

Le Parlement et le Conseil Européen ont reconnu dès 1998, le potentiel de développement économique que constitue le secteur du numérique et disposé, dans la directive **2003/98/CE** les bases de la création d'un marché à l'échelle de l'Union Européenne en encadrant les conditions dans lesquelles les jeunes pousses d'entreprise pourraient accéder aux nombreuses données produites chaque année par les acteurs du secteur public, afin de réutiliser dans de nouveaux services numériques.

La directive **2003/98/CE** stipulait in contrôle quinquennal du processus par la Commission de l'Union Européenne sous la forme d'une consultation des parties prenantes. Ce contrôle a conduit à l'adoption de la directive **2013/37/UE** qui étendait et précisait divers points de la directive **2003/98/CE**, puis à l'adoption de la directive **2019/1024/UE** qui formalise les aspects juridiques Européen de l'**Open Data** pour le secteur public.

La directive **2019/1024/UE** a abrogé, le 17 juillet 2021, les directives **2003/98/CE** et **2013/37/UE**, mais tous les états membres n'ont pas terminé la transposition de ses articles dans leur droit national.

La Belgique et le Luxembourg ont terminé ce travail. La transposition dans la loi italienne fait l'objet d'un décret dont le parlement a délégué l'exécution au gouvernement et dont le schéma de principe a été approuvé par le conseil des ministres le 5 août 2021. La transposition dans la loi espagnole est en cours.

La directive PSI (Public Sector Information)

La directive **2013/37/UE** du Parlement et du Conseil de l'Union Européenne, publiée le 26 juin 2013 a fixé de nouveau principes afin d'encourager les administrations publiques des états membres à partager les informations qu'elle produise au bénéfice de la société, de l'économie de la connaissance, des citoyens de l'Union Européenne, et de l'amélioration de la valeur ajoutée de leur activité. Elle complète les dispositions d'une précédente directive, **2003/98/CE** du 17 novembre 2003 qui avait énoncé les principes de base d'un tel partage. En pratique, la directive **2013/37/UE** constitue un document assez difficile à lire car elle procède par amendements de la directive sur laquelle elle s'appuie. Les états membres devaient transposer cette directive dans leurs lois nationales au plus tard le 18 juillet 2015.

Les principes

Les états membres doivent mettre en place des règles aussi cohérentes que possibles chez les uns et chez les autres.

Les états membres doivent rendre réutilisables tous les documents que leurs administrations produisent, à moins que des règles nationales relatives à l'accès au document n'en excluent ou n'en limitent pas l'accès.

La réutilisation doit respecter les règles de la Convention de Berne pour la protection des œuvres littéraires et artistiques et de l'accord sur les droits de propriété intellectuelle liés au commerce.

Les états doivent déterminer dans quelles conditions la réutilisation de données personnelles détenue par l'administration est licite.

L'obligation de réutilisabilité doit être étendue aux ressources détenues par les bibliothèques, musées et archives publiques. Notamment les métadonnées qu'elle produisent. Elle ne s'applique pas aux structures (orchestres, opéras, ballets et théâtres) qui opèrent dans le domaine du « spectacle vivant » car le respect des lois relatives au droits d'auteurs limite fortement ce qu'elles peuvent partager.

La numérisation des documents est fortement encouragée ainsi que leur présentation dans des formats structurés qui embarquent des métadonnées qui permettent une identification du document et l'extraction de son contenu par des machines. Ceci s'applique notamment aux données géographiques qui doivent respecter les principes définis par la directive INSPIRE (2007/2/CE du 14 mars 2007).

Les états membres doivent contrôler les éventuelles redevances qui s'appliquent à l'accès aux documents et que celle-ci restent raisonnable en regard de l'investissement et des coûts de fonctionnement qui permettent de les partager.

Les acteurs qui partagent des documents peuvent soumettre leur réutilisation à des licences, notamment des licences ouvertes.

Les états membres doivent contrôler les accords d'exclusivités conclus entre leurs administrations et des opérateurs privés. La directive ne remet pas en cause notamment les partenariats public-privé qui existent entre certaines institutions culturelles et des entreprises afin de permettre la numérisation de leurs ressources dans le cadre de contrats d'exclusivité de réutilisation.

La durée des droits d'exclusivité ne devrait pas, en général, être supérieure à dix ans.

Application

En France la directive a été transposée par la loi n° 2015-1779 du 28 décembre 2015 relative à « la gratuité et aux modalités de la réutilisation des informations du secteur public ». Elle s'applique aussi en Nouvelle-Calédonie, en Polynésie-Française, à Wallis et Futuna et dans les Terres Antarctiques Françaises.

Directive Open Data

Généralités

La directive 2019/1024/UE du Parlement et du Conseil de l'Union Européenne, publiée le 20 juin 2019, a été adoptée dans le cadre du processus de réexamen prévu par les directives précédentes (2003/98/CE et 2013/37/UE) relatives aux mêmes sujets.

Principes

Alors que les précédentes directives ne s'appliquaient qu'à des documents, celle-ci étend leurs principes à toutes les données produites par les administrations publiques des états membres.

Les états membres sont invités à mettre leurs données à la disposition du public pour des usages sociaux ou commerciaux tout en conservant une approche cohérente de la protection des données critiques pour la sécurité publique ou pour les données personnelles.

La directive 2019/1024/UE étend l'obligation du partage des données aux entreprises publiques qui remplissent des missions d'intérêt général et à celles qui agissent en tant qu'opérateurs de services publics. Ces entreprises restent seuls maîtres de décider ce qu'elles partagent ou pas.

Elle encourage les états membre à partager au plus tôt les données de travail de la recherche financée par des fonds publics dans le respect de toutes les obligations de confidentialités dont elles peuvent être affectées.

Elle invite à préciser les processus de mise à disposition à fins de réutilisation en fonction de l'impact économique et de l'intérêt public pour cette réutilisation.

Les données doivent être accessibles au travers d'API publiées.

Les données doivent être publiées, dans la mesure du possible avec la granularité la plus précise possible.

La réutilisation payante par d'autres parties ne doit pas entraver l'échange gratuit de données entre organismes publics dans le cadre de l'exercice de leur mission de service public.

Les états membres doivent veiller à ce que la réutilisation de documents produits par des organismes publics ne crée pas de distorsions du marché et de la concurrence.

Les états membres doivent encourager la création de services qui permettent la découverte des documents et des données éventuellement réutilisables.

La Commission de l'Union Européenne doit faciliter la coopération des états membres et soutenir la conception, les essais, la mise en œuvre d'interfaces électroniques interopérables.

La Commission de l'Union Européenne est invitée à publier une annexe qui contient une taxonomie thématique de référence.

Les ensembles de données à forte valeur doivent être mis à disposition à des fins de réutilisation avec un minimum d'entraves légales, et si possible gratuitement. Cette disposition n'interdit pas de facturer des services complémentaires comme ceux qui attestent de l'authenticité ou de la véracité des documents. Les ensembles à forte valeur comprennent les données relatives : au domaine géospatial, à l'observation de la terre et de l'environnement, à la météorologie, aux statistiques, aux entreprises ou la propriété des entreprises, à la mobilité.

L'obligation de partage ne s'applique pas aux entreprises et aux organismes qui assurent des missions de radiodiffusion dans le cadre d'un service public.

La directive 2019/1024/UE abroge les directives 2003/98/CE et 2013/37/UE. Les états membres doivent la transposer avant le 17 juillet 2021.

5.5 Panorama des normes

OGC SensorThings

Introduction

SensorThings API est un standard de l'**Open Geospatial Consortium** (OGC) qui définit un cadre ouvert et unifié pour interconnecter les appareils de détection IoT, les données et les applications sur le Web.

Elle complète les protocoles réseau **IoT** existants tels que **CoAP**, **MQTT**, **HTTP**, **6LoWPAN**. Ces protocoles permettent à des systèmes IoT différents d'échanger des informations. L'API **OGC SensorThings** a pour objectifs de permettre aux différents systèmes IoT d'utiliser et de comprendre les informations échangées. **MQTT** est le protocole préféré (Source : [A] p. 1).

Le développement de **SensorThings** API s'est appuyé sur les standards **OGC** déjà existants comme **SWE**, **SOS**, **SPS**, **O&M**, et permet, par conséquent, de l'intégrer

**Modèle de données de
SensorThings API
Sensing 1.0
(Version active)**

facilement dans les Infrastructures de données Géographiques et les Systèmes d'Information Géographiques existants (Source : [A] p. 1).

Le standard comprend deux modules :

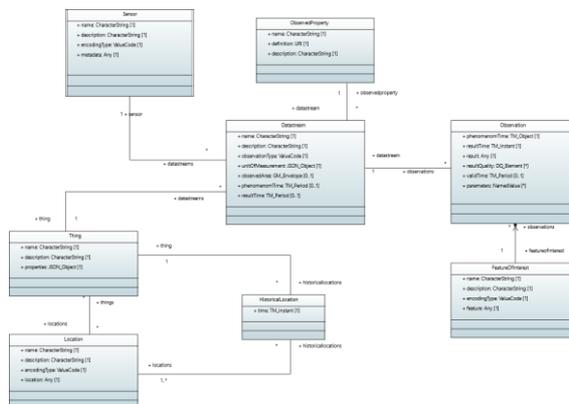
- **OGC SensorThings Sensing** (détection) approuvée le 3 décembre 2015 par l'OGC (Source : [A] p. 1).
- **OGC SensorThings Tasking** (programmation) approuvée le 8 janvier 2019 par l'OGC (Source : [A] p. 1).

Les points forts de ce standard sont :

- La disponibilité d'implémentations Open Source des composants client et serveur.
- Sa forte visibilité dans les communautés senseurs environnementaux et **Smart Cities**.
- Son adoption dans le cadre de nombreux projets et son utilisation par de nombreux systèmes déployés.

La partie détection du standard fournit des moyens standards pour gérer et récupérer des observations et des métadonnées à partir de systèmes de capteurs IoT hétérogènes (Source : [A] p. 1).

Ce modèle permet de gérer les observations de capteurs **IOT** (situés à un emplacement - **Location**), faisant des Observations sur un Objet d'intérêt (**FeatureOfInterest**), pouvant être à un emplacement distinct fourni par la propriété **feature** de **FeatureOfInterest** (Source : [A] p. 2).

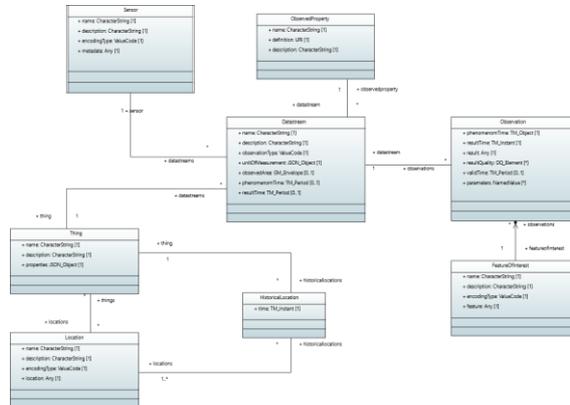


Nom de la classe	Description
Thing	Un objet du monde physique (une chose physique) ou du domaine de l'information (un objet virtuel) qui peut être identifié et intégré dans des réseaux de communication
Location	Localise le Thing.
HistoricalLocation	Enregistre la localisation actuelle et les localisations précédentes d'un Thing.
Datastream	Une collection d'observations dans un flux de données qui mesurent la même propriété observée par le même capteur.
ObservedProperty	Spécifie le sujet observé.
Sensor	Un instrument qui observe une propriété ou un phénomène dans l'objectif d'estimer la valeur d'une propriété.
Observation	L'action qui consiste à mesurer ou à déterminer par une autre méthode la valeur d'une propriété.
FeatureOfInterest	La valeur d'un résultat associé à un phénomène.

Les classes d'objets : SensorThings API Sensing

<p>Implémentations de référence</p>	<ul style="list-style-type: none"> • SensorUp SensorThings API v1.0 (Université de Calgary) qui fournit un SDK et un Dashboard – certifié (Source :[4]).
<p>Implémentations certifiées</p>	<ul style="list-style-type: none"> • FROST Server 1.12 (Fraunhofer Institute) - certifié. Frost a été utilisé dans les projets européens beAWARE et Heracles dans lesquels l'unité IOSB de Fraunhofer Institute était engagée (Sources :[4], [A] p. 1). • SensorThings V 1.0, Institute of Communication and Computer Systems, Athènes (Source : [A] p. 1). • PilotGaea GIS, Kaohsiung Chine. Implémentation intégrée avec d'autres API OGC, à un système d'informations géographiques à hautes performances (Source : [A] p. 1).
<p>Autres implémentations</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Geodan Gost à Amsterdam, implémentation open-source du serveur GOST, du SDK sensorthings-net-sdk pour .Net et de divers outils (Source :[4]). • Smart Air Quality Network, à Augsburg, fork du serveur FROST de Fraunhofer Institute (Source : [A] p. 1). • Le projet 52North, à Helgoland, implémente SensorThings API Part 1: Sensing 1.0, sous licence Open Source (Source :[4]). • SensorUp SensorThings API par SensorUp, startup issue de l'Université de Calgary, et éditrice de la solution IoT SensorUp Location Intelligence Platform (Source : [4]). • Mozilla sensorweb/sensorthings. Implémentation Open Source pour Node.js. Le développement est inactif depuis 1997 (Source : [4]). • CGI Kinota Big Data et kinota SensorThingsServer (fork de Frost). CGI a développé une implémentation modulaire de SensorThings appelée Kinota Big Data. Kinota prend en charge des plates-formes de persistance allant du SGBDR aux bases de données NoSQL. L'implémentation actuelle prend en charge Apache Cassandra. Kinota implémente uniquement un sous-ensemble des exigences de SensorThings. Cette implémentation est basée sur Java et est fournie sous licence GNU (Source :[4]). Kinota est utilisée notamment par le projet LEaRN de la municipalité de Lafayette et de l'Université de Louisiane. <p>La liste complète et à jour des implémentations référencées par l'OGC est accessible à l'adresse suivante : OGC Implementations by Specification : OGC SensorThings API Part 1: Sensing 1.0 (Source : [A] p. 1).</p>
<p>Modèle de données de SensorThings API Sensing 1.1</p>	<p>Toutes les entités (à l'exception de HistoricalLocation) ont désormais un champ Properties (ou Parameters) du type Objet JSON. En version 1.0, un tel champ existait déjà pour l'entité Thing (propriétés nommées) et pour l'entité Observation (paramètres nommés) (Source : [A] p. 3).</p> <p>Ces champs se sont avérés extrêmement utiles pour stocker des métadonnées structurées utilisées dans de nombreux domaines. Ils peuvent également être utilisés dans des filtres (Source : [A] p. 3)..</p>

Les implémentations de référence **FROST** et **SensorUp** semblent déjà prêtes à utiliser **SensorThings API 1.1**, qui est donc la version recommandée dès qu'elle sera publiée (elle devrait l'être au cours du 1T2021). La spécification **SensorThings API 1.1** est disponible sur le portail **OGC** (Source : [A] p. 3).



Principes

L'activation des fonctions de l'**API** les conventions de passage des paramètres et de récupération des données de **SensorThings** sont basées sur les conventions définie **Odata 4.0 d'Oasis**.

Les conséquences du choix d'**Odata** sont les suivantes :

- La manière de coder les paires (**clé, valeur**), dans **SensorThings**, est potentiellement différente de certaines versions de normes **OGC** précédentes (**SWE** - Sensor-Web Enablement -, **SensorML** - Sensor Model Language, - et **SOS** - Sensor Observation Service -).
- **SensorThings API Sensing** définit une **API REST** qui s'appuie sur les commandes des protocoles **HTTP (ou HTTPS)** pour échanger des données. Les commandes **STA "CREATE", "READ", "UPDATE", et "DELETE"** prennent modèle sur les commandes équivalentes du protocole **HTTP** : **"POST", "GET", "PATCH", et "DELETE"**.

Classes de conformité des implémentations

Les créateurs d'implémentations, peuvent choisir parce qu'ils n'en n'ont pas besoin dans leur contexte applicatif de n'implémenter que certaines fonctionnalités décrites par la spécification. L'**OGC** a défini les classes de conformité suivantes : (Source : [A] p. 1).

- SensorThings API Part 1: Sensing (1.0)
 - SensorThings API Sensing Core (1.0)
 - SensorThings API Filtering Extension (1.0)
 - SensorThings API Create-Update-Delete (1.0)
- SensorThings API Part 2 – Tasking Core (1.0)

Formats des URI d'accès à l'interface

Le format d'un **URI** d'accès à l'interface est le suivant :

http://example.org/v1.0/ Observations ?\$orderby=ID&\$top=1
 URI d'accès au service Chemin d'accès à la ressource Paramètres de la requête

Quelques particularités de la syntaxe de l'API

Autres fonctions de SensorThings API Sensing

Pour aller plus loin

Cet **URI** code un appel au service rend la liste des collections d'entités que le service gère et les url qui permettent d'accéder à chacune

```
{
  "value": [
    { "name": "Things", "url": "http://example.org/v1.0/Things" },
    { "name": "Locations", "url": "http://example.org/v1.0/Locations" },
    { "name": "Datastreams", "url": "http://example.org/v1.0/Datastreams" },
    { "name": "Sensors", "url": "http://example.org/v1.0/Sensors" },
    { "name": "Observations", "url": "http://example.org/v1.0/Observations" },
    { "name": "ObservedProperties", "url": "http://example.org/v1.0/ObservedProperties" },
    { "name": "FeaturesOfInterest", "url": "http://example.org/v1.0/FeaturesOfInterest" }
  ]
}
```

Forme de la requête	Résultat
<a href="http://example.org/v1.0/<nom de collection>">http://example.org/v1.0/<nom de collection>	Rend tous les éléments de la collection <nom de collection>
http://example.org/v1.0/Things(1)	Rend le premier élément de la collection « Things »
http://example.org/v1.0/Observations(1)/resultTime	Rend la valeur de la propriété « resultTime » du premier élément de la collection « Observations » sous la forme d'un objet JSON.
http://example.org/v1.0/Observations(1)/resultTime/\$value	Rend la valeur de la propriété « resultTime » du premier élément de la collection « Observations » sous la forme d'une chaîne de caractères.
http://example.org/v1.0/Datastreams(1)/Observations	Rend tous les objets « Observation » associés au premier élément de la collection « Datastreams » par l'association « Observations ».
http://example.org/v1.0/Datastreams(1)/Observations/\$ref	Rend les URL d'accès tous les objets « Observation » associés au premier élément de la collection « Datastreams » par l'association « Observations ».
http://example.org/v1.0/Datastreams(1)/Observations(1)	Rend le premier objet « Observation » associés au premier élément de la collection « Datastreams » par l'association « Observations ».
\$filter, \$count, \$orderby, \$skip, \$top	Paramètres qui permettent d'effectuer des recherches associatives sur les collections.

SensorThings API Sensing définit une **API REST** qui s'appuie sur les commandes du protocole **HTTP (ou HTTPS)** pour échanger des données. Les commandes **STA "CREATE", "READ", "UPDATE", et "DELETE"** s'appuient sur les commandes équivalentes du protocole **HTTP : "POST", "GET", "PATCH", et "DELETE"** (ou leur équivalent dans d'autres protocoles).

Exemple de requête de lecture :

HTTP GET [http://example.org/SensorThingsService/v1.0/Things\(1\)](http://example.org/SensorThingsService/v1.0/Things(1))

Exemple de réponse :

```
{
  "@iot.id" : 1,
  "name" : "Room S021",
  "description" : "This is room S021",
  "properties" :
  {
    "roomNumber" : "S021",
    "numberOfSeats" : "4"
  },
  "Locations@iot.navigationLink" : "Things(1)/Locations",
  "HistoricalLocations@iot.navigationLink" : "Things(1)/HistoricalLocations",
  "Datastreams@iot.navigationLink" : "Things(1)/Datastreams",
  "@iot.selfLink" : "/SensorThingsService/v1.0/Things(1)"
}
```

Le **Pôle Inside** a mis en place sur le [Wiki](#) de l'un de ses projets **Github** des exemples qui permettent d'entrevoir concrètement quelques unes des possibilités offertes par l'**API SensorThings**, et notamment la recherche spatiale :

[http://sensorthings.brgm-rec.fr/SensorThingsGroundWater/v1.0/FeaturesOfInterest?\\$filter=st_within\(feature,%20geography%27POLYGON%20\(\(3%2049,%204%2049,%204%2050,%204%2050,%203%2049\)\)%27\)](http://sensorthings.brgm-rec.fr/SensorThingsGroundWater/v1.0/FeaturesOfInterest?$filter=st_within(feature,%20geography%27POLYGON%20((3%2049,%204%2049,%204%2050,%204%2050,%203%2049))%27))

Le début de la réponse est

```
{
  "value" : [ {
    "name" : "FoI for location 13893",
    "description" : "Generated from location 13893",
    "encodingType" : "application/vnd.geo+json",
    "feature" : { "type": "Point", "coordinates": [3.854086133, 49.669113449] },
    "Observations@iot.navigationLink" :
    "https://sensorthings.brgm-rec.fr/SensorThingsGroundWater/v1.0/FeaturesOfInterest(1204)/Observations",
    "@iot.id" : 1204,
    "@iot.selfLink" :
    "https://sensorthings.brgm-rec.fr/SensorThingsGroundWater/v1.0/FeaturesOfInterest(1204)"
  }
],
```

Utilisations avancées d'OGC SensorThings

Le projet API d'observation

Le projet API d'observations du Pôle INSIDE a pour objectif d'implémenter le standard OGC "SensorThings API" pour les données d'observations environnementales. Il associe depuis son lancement en 2018, les compétences du BRGM, du Fraunhofer IOSB et de la société DataCove.

Le projet s'inscrit dans la continuité des projets menés par le BRGM autour des standards OGC/ISO Observations & Measurements et OGC SOS (Sensor Observation Service).

Il s'appuie sur la contribution historique des trois partenaires aux actions de standardisation et de normalisation appliquées à l'échange de données d'observation (à l'échelle européenne avec la directive Inspire et à l'échelle mondiale avec l'OGC).

Utilisé internationalement dans de nombreux domaines, le standard OGC SensorThings API constitue une opportunité incontournable pour stimuler la diffusion des données environnementales à grande échelle et de façon interopérable dans le cadre de l'internet des objets.

A l'issue de deux ans de travaux, le projet API d'observations affiche des résultats concrets dans la sphère des données relatives aux eaux continentales (quantité et qualité) et dans celle des données relatives à la pollution des sols.

En 2020, les travaux du projet se sont poursuivis sur trois volets :

- Extension du standard à un spectre thématique élargi (données océanographiques et agronomiques).
- Contribution au projet européen API4INSPIRE.
- Développement d'un module **QGIS** d'interrogation de l'API.

API d'observations dans le domaine de l'eau

Les premiers travaux du projet **API d'observations** ont porté sur le domaine de l'eau, pour lequel des séries de données étaient largement disponibles.

En 2018, un prototype de l'**API OGC SensorThings** utilisant le **FROST-Server** (Fraunhofer Opensource SensorThings Server) a ainsi été déployé sur des instantanés de deux bases de données françaises :

La base des **mesures de piézométrie** (niveaux d'eau dans les nappes d'eau souterraine), opérée par le **BRGM**.

La base des mesures d'hydrométrie (débits des cours d'eau), opérée par le **SCHAPI** (Service Central d'Hydrométéorologie et d'Appui à la Prévision des Inondations).

Ce premier prototype a permis de confirmer :

- La capacité du standard **OGC SensorThings API** à couvrir les besoins d'une API de collecte et de diffusion de données d'observation environnementales.
- La qualité de l'implémentation du **FROST-Server** en termes de conformité au standard et, par rapport aux autres implémentations existantes du standard, en termes de maintenabilité et de facilité de déploiement.

API d'observations consolidation des résultats

En 2019, un instantané de la base de données française des mesures de la qualité des eaux de surface "[Naiades](#)" (130 millions d'observations) a été converti au standard **OGC SensorThings API** puis propulsé sur **FROST-Server** dans le but d'évaluer la capacité du standard à assimiler des patterns de données d'observation plus complexes ainsi que les temps et capacités de réponse du **FROST-Server** en conditions réelles d'exploitation.

Ce second prototype a démontré :

- L'applicabilité du standard **OGC SensorThings API** aux données d'observation de la qualité des eaux.
- La capacité du FROST-Server à traiter la volumétrie avec des performances équivalentes à celles obtenues avec une infrastructure big data (comparaison effectuée avec l'[API Hub'Eau Qualité des cours d'eau](#)).

Le bénéfice pour les utilisateurs métier de l'application du standard **OGC SensorThing API** aux données d'observation dans le domaine de l'eau réside également dans la facilité de déployer des outils clients capables d'interroger un serveur **SensorThings API**.

API d'observations perspectives d'évolution de la norme

La mise en œuvre du standard sur trois bases de données d'observations dans le domaine de l'eau (piézométrie, hydrométrie et qualité physico-chimique) et le déploiement des points de terminaison (endpoints) associés sur le **FROST-Server**.

- Fournissent des retours pour améliorer le standard. L'équipe du projet participe à l'animation du **SensorThings Standard Working Group** (SWG) de l'**OGC** et transmet des propositions d'évolutions, grâce aux outils de collaboration de ce groupe de travail qui sont évaluées par l'ensemble des participants.
- Contribuent à faire reconnaître l'**API OGC SensorThings** par le **JRC** (Joint Research Centre - service scientifique interne de la Commission européenne) comme un moyen pertinent d'accès aux des données d'observations environnementales qui relèvent de la directive **Inspire**.
- L'équipe du projet et le JRC ont déjà en commun une publication [\[4\]](#) en ce sens et ont continué à collaborer en 2020 dans le cadre du projet **API4INSPIRE**.

API d'observations extension du spectre thématique

Les travaux d'implémentation du standard **API SensorThings** menés par le **Pôle Inside** ne se limitent pas aux données d'observation des eaux continentales, et produisent des avancées significatives sur un large spectre thématique.

Pour répondre aux besoins émergents du système français d'information sur les sols pollués, un scénario d'échange de donnée **SensorThings** pour les **profils et échantillons de sols** a été défini. Ce travail de modélisation a été présenté en novembre 2019 lors du 113ème comité technique de l'**OGC** à Toulouse et implémenté sur le **FROST-Server** [5].

D'autres utilisations de **SensorThings API** sont en cours d'élaboration :

- Avec l'**Ifremer** pour les données de la base **Quadrige** issues des réseaux de **surveillance des eaux marines du littoral** (observations biologiques (taxons) et chimiques) et pour les **données d'observation des océans recueillies par bouées** à différentes profondeurs.
- Avec l'**INRAE** pour les **données pédologiques** de la base **DoneSol**.

Outre l'application du standard à un spectre thématique élargi (données océanographiques et agronomiques), les travaux du **Pôle Inside**, sur le projet **API d'observations**, se sont structurés, en 2020, autour des trois axes suivants :

- Développements sur **FROST-Server** visant l'enrichissement sémantique des liens entre entités (observations) dans les réponses de l'**API** et conception d'un format de sortie **CSV**.
- Conception d'un plugin QGIS pour la lecture des endpoints des **API SensorThings**.
- Contribution au projet européen **API4INSPIRE**.

API4Inspire

API4Inspire contexte

Le projet **API4INSPIRE** a été conçu pour répondre à l'appel à manifestation d'intérêt du Centre Commun de Recherche de la Commission Européenne (**JRC**) : « Facilitating access to **Inspire** data through standard-based Application Programming Interfaces (APIs) ».

API4Inspire objectifs

Le projet **API4Inspire** vise à déployer en conditions de productions les nouveaux standards d'API interopérables spécifiés par l'**OGC** : **OGC API – Features** et **OGC SensorThings API** afin de :

- Identifier les avantages et inconvénients de ces nouveaux standards de publication de données sur le Web.
- Proposer une approche facilitant l'appropriation de ces API par les structures publiques confronter cette approche à différents cas d'utilisation
- Explorer des méthodes pour simplifier l'accès aux jeux de données conformes à la directive **Inspire**.

L'objectif global consiste à émettre des recommandations sur les nouveaux services à mettre en place dans le cadre d'une application simplifiée de la directive **Inspire**.

API4Inspire cas d'utilisation

Les premiers cas d'utilisation à traiter dans le projet reposent sur des jeux de données permettant de traiter la question du caractère transfrontalier des données, enjeu structurant de la Directive **Inspire** :

- Réseaux hydrographiques de surface, stations hydrométriques et données de suivi en presque temps-réel
- Référentiels hydrogéologiques, stations de suivi eaux souterraines et données de suivi en presque temps-réel
- Zonages de risques

Des cas d'utilisations basés sur d'autres jeux de données sont intégrés en fonction de l'évolution des besoins et des opportunités. Ainsi, en parallèle des règles de confinement mises en place lors de l'épisode **COVID-19**, des flux de rapportage de la directive européenne sur la Qualité de l'Air (**AQD**) de certains pays Européens

ont été ré-exposés en utilisant l'API **OGC SensorThings API** (Allemagne, Autriche, France, Italie, ...). Ces flux concernent les mesures de la qualité de l'air en quasi-temps réel.

Web of Things

Un standard pas encore terminé

Le **Web of Things** est une initiative du W3C dont l'objectif consiste à organiser la manière dont les objets connectés informent leurs correspondants à propos des interfaces de programmation d'application (API) et des informations qu'ils mettent à leur disposition. Elle se traduit par la publication de séries de recommandations qui visent à :

- Lutter contre la fragmentation de l'IoT en utilisant et en étendant les technologies Web standardisées existantes.
- Fournir des métadonnées standardisées et d'autres blocs de construction technologiques réutilisables,
- Permettre une intégration facile entre les plates-formes IoT et les domaines d'application.

Deux seulement de ces spécifications ont actuellement un caractère officiel et trois ont été offertes pour leur discussion publique.

TITRE DE LA SPÉCIFICATION	ETAT
WEB OF THINGS ARCHITECTURE	Officielle
WOT/TD WEB OF THINGS DESCRIPTION	Officielle
WOT/BT WEB OF THINGS BINDING TEMPLATES	Prépublication
WOT/SAPI WEB OF THINGS SCRIPTING API	Prépublication
WOT/SPG WEB OF THINGS SECURITY AND PRIVACY GUIDELINES	Prépublication

Mises en œuvre

Les recommandations font l'objet de mises en œuvre, de démonstrations opérationnelles des concepts et de bancs d'essais, notamment :

- **SIEMENS/Desigo CC** plateforme **SIEMENS** destinée au management de l'**IoT** dans les immeubles.
- Projet **Thingweb node-wot** de la **Fondation Eclipse**.
- **Node-RED** de la fondation **OpenJS**.
- **Mozilla WebThings**.
- **Fujitsu** propose un proxy pour machine Edge et plateformes Cloud qui implémente une interface conforme aux spécifications **WoT**.
- **WoTPy (WoT en langage Python)**.

Domaines d'application

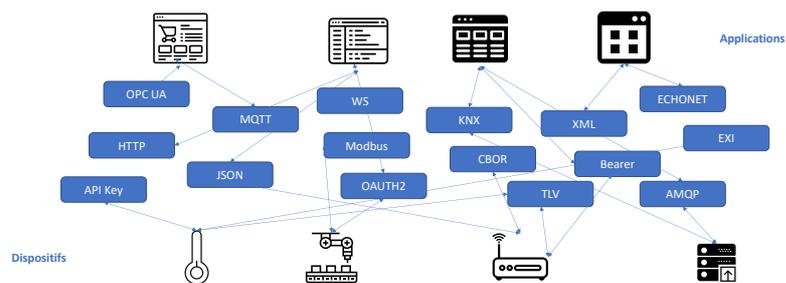
Les cas d'utilisation pris en compte par le W3C lors du développement de la spécification comprennent les domaines suivants :

- Grand public (éclairage, climatisation, fermetures automatiques, consommation d'énergie).
- Industrie (Usine intelligente).
- Transports et logistique (Gestion de flotte, suivi des envois, Gestion des stocks locaux).
- Services (Dispositifs de facturation distante, automates de régulation production d'énergie autonome).
- Pétrole et Gaz (Management des plateformes off-shore).
- Assurances (Pré-détection des sources de dommages).
- Ingénierie et Construction (Suivi des matériaux et des composants de construction).

Problématique abordée

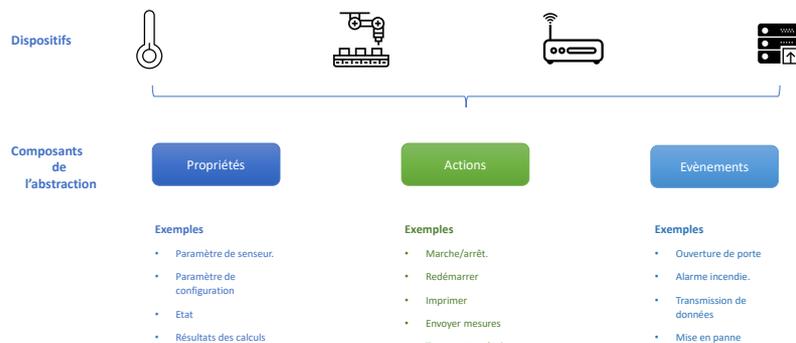
- Agriculture (Analyse des sols pour l'optimisation de l'aspersion, de la distribution des engrais et des pesticides).
- Santé (Suivi des essais cliniques suivi à distance des patients).
- Environnement (Suivi de la pollution de l'air et de l'eau, des poussières, de l'ozone, des particules fines, de la radioactivité, du radon, de l'humidité et de la température).
- Villes intelligentes (Suivi des Ponts, des barrages, des digues, des canaux, du trafic, des places de parking, de l'éclairage et du traitement des déchets).
- Immeubles intelligents (suivi des accès, de la ventilation de l'approvisionnement en énergies, des évacuations).
- Véhicules connectés.

Les architectes et les développeurs des projets IoT doivent faire face à un paysage technologique hétérogène composé de systèmes et services IoT de différents fournisseurs et fabricants. Cette diversité comprend des différences dans les protocoles de communication, les modèles de données pour l'échange de données utiles et les exigences de sécurité. Les applications IoT sont généralement développées en utilisant un effort élevé appliqué à un cas d'utilisation limité et spécifique. Au cours de leur durée de vie, ces applications deviennent difficiles à faire évoluer, à maintenir ou à réutiliser.



Modèle

WoT propose aux dispositifs de décrire leurs interfaces à l'aide d'une abstraction simple qui repose sur trois concepts.



L'architecture cible

Les **WoT/TD** (WoT Thing Description) sont des ensembles de métadonnées relatives à un dispositif qui servent de point d'entrée aux interactions avec celui (l'équivalent de « index.html » dans une application Web classique en quelque sorte).

Elles indiquent notamment :

- Les propriétés disponibles et leurs caractéristiques
- Les fonctions accessibles.
- Les protocoles utilisables.
- La manière dont les données sont structurées et codées.
- Les mécanismes de sécurités utilisés

La **WoT/TD** d'un dispositif peut être fournie par le dispositif lui-même ou obtenue auprès d'un répertoire.

Les **WoT/TD** utilisent le format d'échange **JSON-LD** (**JSON-LD** est l'un des formats d'échange de la plateforme **Linked Data Platform** du **W3C**. Il est utilisé par un certain nombre d'application du Web sémantique).

WoT se veut agnostique en matière de protocoles d'échange de données.

Les **WoT Binding Templates** sont des descriptions qui associent les éléments d'une abstraction **WoT/TD** et les caractéristiques d'un protocole spécifique comme **MQTT**, **HTTP**, **CoAP** ou **Modbus**.

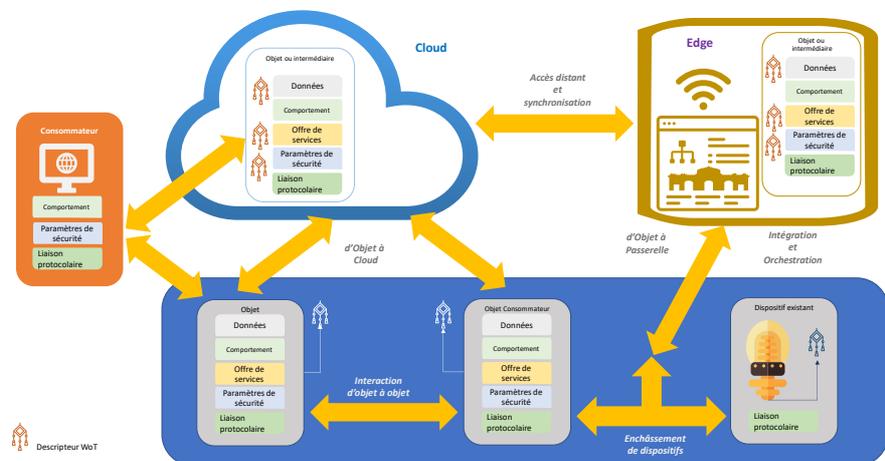
Un **WoT Binding Template** applicable à un protocole donné décrit comment un client peut atteindre un composant de l'abstraction **WoT** grâce à une interface spécifique réseau à ce protocole.

WoT Scripting API définit une API pour le langage **ECMAScript** (Javascript) qui calque la spécification **WoT/TD**. Elle décrit comment un programme d'application put agir avec une bibliothèque d'exécution.

WoT n'est techniquement pas lié aux langages de script comme **Javascript** ou **Python**. Des bibliothèques pour **C++**, **Java** et d'autres langages peuvent être déduites de cette spécification.

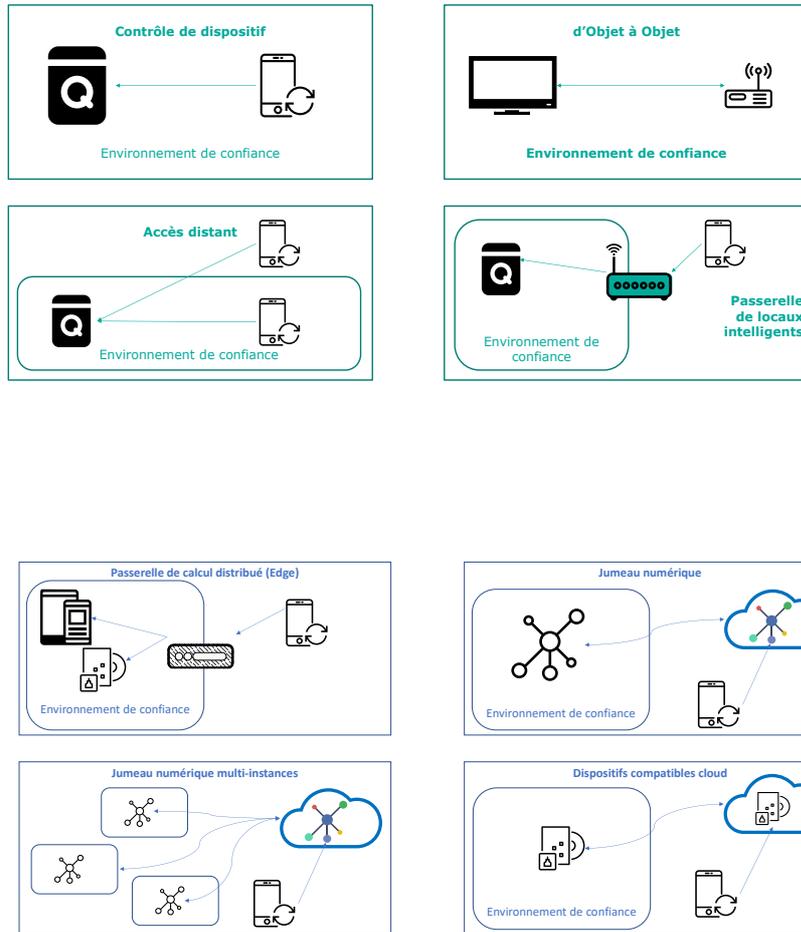
WoT Security and Privacy Guidelines définit des lignes de conduits destinées à traiter les aspects sécurité et confidentialité de l'interopérabilité **IoT**.

Le schéma ci-dessous représente l'architecture à laquelle **WoT** s'adresse. **WoT** est notamment indifférente au fait que les objets communiquent directement avec les applications ou qu'ils participent à la construction d'objets plus complexes sur des systèmes intermédiaires (**Edge**).



Les patrons d'interaction

WoT prend en compte les patrons d'interaction suivants :



5.6 Enjeux

Protection et sécurité des données personnelles

La spécification ETSI EN 303 645

La norme **EN 303 645**, publiée par l'**ETSI**, l'Institut européen des normes de télécommunications, l'un des trois organismes de certifications reconnus par la Commission de l'Union Européenne, a publié, le 30 juin 2020, la première norme européenne de sécurité applicable aux objets connectés et orientée vers les usagers.

L'objectif de cette spécification est de fournir une base de haut niveau, en termes de bonnes pratiques de sécurité à tous les détenteurs d'enjeux impliqués dans une démarche ou une autre qui fait intervenir des objets connectés.

Les cas d'usage qui ont été considérés pour la définition de la spécification comprennent : les jouets connectés et les équipements destinés à la surveillance des très jeunes enfants, les détecteurs de fumée, les serrures connectées, les détecteurs d'ouverture des fenêtres, les concentrateurs de données auxquels de multiples

objets se connectent, les caméras et les enceintes connectées, les dispositifs de santé intégrés aux vêtements, les systèmes d'alarmes connectés, l'électroménager et les outils connectés, les assistants domestiques. Une attention particulière a été accordée aux micro-dispositifs qui comportent des contraintes, en matière de capacité de calcul, d'échange de données, de stockage de données ou d'interaction avec les utilisateurs. Ces contraintes peuvent découler de l'alimentation énergétique, des propriétés et des ressources dont le dispositif dispose.

L'évaluateur de la conformité d'un dispositif avec la spécification doit fournir une explication pour chacune des exigences de celle-ci qui ne sont pas respectées ou qui sont considérées comme non applicables. Ces exigences appartiennent à treize classes :

1. Exigences relatives à l'authentification des utilisateurs.
2. Exigences relatives au management des rapports de vulnérabilité.
3. Mise à jour fréquentes des logiciels.
4. Stockage sécurisé des paramètres de sécurité.
5. Communiquer de façon sûre.
6. Minimiser le périmètre exposé aux attaques.
7. Assurer l'intégrité du logiciel.
8. Assurer la sécurité des données personnelles.
9. Rendre les systèmes résistants aux pannes.
10. Analyser les données fournies par la télémétrie du système.
11. Faciliter la suppression par les utilisateurs des données personnelles.
12. Faciliter l'installation et la maintenance des dispositifs.
13. Validation des données d'entrée.

Les paragraphes suivants résument les exigences de chacune de ces classes.

I. Exigences relatives à l'authentification des utilisateurs

- Lorsqu'un mot de passe est utilisé par un dispositif, il doit être unique ou modifiable par l'utilisateur. La pratique qui consiste à pouvoir accéder à certaines fonctions du dispositif en utilisant un nom d'utilisateur et un mot de passe universel (exemple : « admin », « admin ») doit être abandonnée.
- Lorsque des mots de passe uniques sont préinstallés, ils doivent être générés en appliquant une technique qui est supposée résistante aux attaques en force. L'usage de mots de passe incrémentaux ou de mots de passe qui sont calculées à partir d'une données publique associée au dispositif (adresse physique sur le réseau (MAC) ou SSID WiFi, par exemple) doit être évité.
- Les mécanismes d'authentications des utilisateurs doivent reposer sur des bonnes pratiques en matière de chiffrement qui correspondent aux capacités du dispositif, aux risques qu'il présente, et à la facilité son usage.
- Lorsqu'un dispositif comprend un mécanisme d'authentification des utilisateurs, il doit fournir un mécanisme simple qui permet à l'utilisateur ou à un administrateur du dispositif, d'en modifier la clé d'accès.
- Lorsqu'un dispositif n'est pas un dispositif qui opère sous contraintes, il doit comporter un mécanisme qui permet de dissuader les attaques en force, effectuées depuis les réseaux, qui visent à déterminer la valeur de la clé d'authentification.
- Les fabricants doivent mettre en place une procédure de signalement des vulnérabilités qui comprend au moins un point de contact auquel il est possible de signaler une vulnérabilité, un accusé de réception du signalement, un accès à l'état d'avancement du traitement de la requête.

2. Exigences relatives au management des rapports de vulnérabilité.

3. Exigences relatives à la mise à jour fréquentes des logiciels.

- Le traitement des vulnérabilités déclarées doit être effectué dans un temps convenable en regard du problème. Une correction logicielle doit être livrée aussi vite que possible, l'application d'une modification du matérielle peut être soumise à d'autres contraintes.
- Les fabricants de dispositifs doivent surveiller, identifier et corriger les vulnérabilités tout au long de la phase où ils en assurent la maintenance. Les fournisseurs de dispositifs qui comprennent du logiciel sont encouragés à utiliser une nomenclature de composants logiciels (SBOM) qui permet d'identifier les modules qui ont été fournis par de tierces parties et leur version associée. Les détenteurs d'enjeux ou, à défaut, les autorités nationales dédiées à la cybersécurité doivent être informés de l'existence des vulnérabilités et à propos de leur résolution. Les fabricants sont invités à partager ces informations avec les instances professionnelles dédiées à la cybersécurité du secteur industriel dans lequel ils opèrent (comme la GSMA, par exemple). Les fabricants doivent satisfaire leurs obligations d'assistance aux utilisateurs et aux tierces parties qui pourraient être lésés par le fait qu'ils ne sont pas parvenus à mettre en place un programme de divulgation des vulnérabilités.
- Tous les composants logiciels présents sur un dispositif IoT destinés aux consommateurs doivent pouvoir être mis à jour de manière sûre. De « manière sûre » sous-entend qu'un attaquant ne peut pas utiliser cette fonction pour corrompre le fonctionnement du dispositif.
- Les dispositifs qui ne fonctionnent pas sous contraintes doivent être dotés d'un mécanisme qui permet l'installation de mises à jour de manière sûre.
- Les mises à jour doivent pouvoir être appliquées simplement par les utilisateurs.
- Les mises à jour du logiciel doivent s'appuyer sur des mécanismes automatiques.
- Le dispositif doit vérifier au moment de son initialisation, puis périodiquement ensuite, si des mises à jour sont disponibles.
- Si un dispositif est capable de traiter les notifications qui permettent la mise à jour des logiciels, cette fonctionnalité doit être active par défaut dans son état initial mais l'utilisateur doit être capable de suspendre ou de différer les mises à jour de sécurité et les mises à niveaux des logiciels.
- La mise à jour des logiciels doit s'appuyer sur des pratiques de chiffrement réputées sûres.
- Les mises à jour de sécurité doivent pouvoir être faites dans des délais acceptables.
- Le dispositif doit être capable de vérifier l'authenticité et l'intégrité des mises à jour du logiciel qu'il reçoit.
- Lorsque les mises à jour sont livrées au travers d'une interface réseau, le dispositif doit s'appuyer sur une connexion fiable lorsqu'il vérifie l'authenticité et l'intégrité des mises à jour du logiciel.
- Le fabricant doit fournir de manière visible à l'utilisateur, l'information relative à la disponibilité d'une mise à jour, et des risques qu'elle permet de diminuer.
- Le dispositif doit notifier à l'utilisateur le moment où l'application d'une mise à jour interrompra son fonctionnement.
- Le fabricant d'un dispositif doit publier de manière compréhensible et accessible par l'utilisateur, la période de temps pendant laquelle il maintient le dispositif.
- Le fabricant d'un dispositif qui fonctionne sous contraintes et dont le logiciel ne peut pas être mis à jour doit communiquer à l'utilisateur les raisons de cette

4. Stockage sécurisé des paramètres de sécurité

impossibilité, la période au bout de laquelle le dispositif devra être remplacé, la durée de la période pendant laquelle il est maintenu, et la méthode qui permet de le remplacer.

- Les dispositifs qui fonctionnent sous contraintes et dont le logiciel ne peut pas être mis à jour, doivent pouvoir être isolés et remplacés.
- La désignation du modèle du dispositif doit pouvoir être facilement identifiée soit grâce à un étiquetage, soit grâce à un affichage, soit au travers d'une fonction de son interface.
- Le dispositif doit ranger de manière sûre les paramètres sensibles dans son espace de stockage persistant.
- Lorsqu'un identifiant unique est utilisé par un dispositif dans l'exécution d'une fonction de sécurité, il doit être protégé contre sa falsification par des moyens mécaniques, électriques, ou programmatiques.
- Les paramètres de sécurité sensibles ne doivent pas être codés en dur dans le logiciel des dispositifs.
- Tous les paramètres qui permettent de vérifier l'authenticité et l'intégrité des mises à jour de sécurité et ceux qui permettent la protection des communications avec des services du logiciel du dispositif, doivent être uniques pour une instance donnée de ce dispositif et doivent être générés à l'aide d'un mécanisme qui limite les risques d'attaque en force contre une classe donnée de dispositifs.

5. Communiquer de façon sûre

- Les dispositifs IoT destinés aux consommateurs doivent utiliser les meilleures pratiques de chiffrement lorsqu'ils communiquent.
- Les dispositifs IoT destinés aux consommateurs doivent s'appuyer sur des implémentations expertisées et évaluées pour fournir des fonctionnalités de mise en réseau et de sécurité, et ce notamment dans le domaine de la sécurité.
- Les algorithmes et les primitives de sécurité doivent pouvoir être mis à jour.
- L'accès aux fonctions du dispositif au travers d'une interface réseau lorsqu'il est dans son état initial ne doit être possible que si l'on s'est authentifié sur cette interface.
- Les fonctionnalités du dispositif qui permettent de modifier des paramètres de sécurité dans la configuration du dispositif au travers d'une interface réseau ne doivent pouvoir être utilisés que si l'on s'est authentifié sur cette interface. Les protocoles de service réseau sur lesquels le dispositif s'appuie pour communiquer et dont le fabricant ne peut pas garantir la configuration qui permettra au dispositif d'opérer, constituent une exception à cette règle.
- Les paramètres de sécurité doivent être chiffrés lorsqu'ils sont échangés en utilisant une technologie appropriée au contexte.
- Le dispositif IoT destiné au consommateur doit garantir la confidentialité des paramètres qui lui ont été transmis au travers d'une interface réseau.
- Le fabricant du dispositif IoT destiné au consommateur doit utiliser des processus de management sûrs pour gérer les paramètres de sécurité qui sont critiques pour le dispositif.

6. Minimiser le périmètre exposé aux attaques

- Toutes les interfaces fonctionnelles, logique ou de sécurité qui ne sont pas utilisées doivent être condamnées et rendues ainsi inutilisables.
- Au cours de la phase d'initialisation, les interfaces réseau du dispositif doivent minimiser la dissémination d'informations relatives à la sécurité.
- La partie matérielle du dispositif ne doit pas permettre d'utiliser des interfaces matérielles inutiles. Un port Micro-USB qui est chargé de fournir une alimentation électrique, par exemple, doit être configuré de telle sorte qu'il n'accepte des commandes ou des commandes de déverminage.

	<ul style="list-style-type: none"> • Lorsqu'une interface de déverminage est physiquement accessible, elle doit être inhibée par le logiciel. • Le fabricant doit activer seulement les services du logiciel qui servent ou sont nécessaires pour utiliser ou faire fonctionner le dispositif. • Le logiciel ne doit pas contenir de code mort. • Le logiciel doit s'exécuter avec les privilèges minimums pour réaliser les fonctions qui en sont attendues. • Le dispositif doit inclure un dispositif matériel de contrôle d'accès à la mémoire. • Le fabricant doit mettre en œuvre des sûrs processus de développement du logiciel.
<p>7. Assurer l'intégrité du logiciel</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Le dispositif doit inclure des mécanismes de démarrage sécurisés qui comprennent des mécanismes qui permettent de vérifier l'intégrité du logiciel. • Si un changement non autorisé est détecté dans le logiciel, le dispositif doit prévenir l'utilisateur ou l'administrateur du problème qu'il a découvert et ne pas se connecter à d'autres réseaux que ceux qui permettent la notification.
<p>8. Assurer la sécurité des données personnelles</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Les échanges de données personnelles entre un dispositif et un service doivent être protégés à l'aide de techniques de chiffrement adéquates. • Les échanges de données personnelles sensibles, entre un dispositif et un service, doivent être protégés à l'aide de techniques de chiffrement adéquates.
<p>9. Rendre les systèmes résistants aux pannes</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Les dispositifs doivent être résistants aux pannes tant du point de vue du matériel que des services qu'il héberge et doivent prendre en compte l'éventualité de pannes de l'alimentation ou du réseau. • Les dispositifs doivent continuer à fonctionner et rester fonctionnels dans le périmètre local lorsqu'ils ne peuvent accéder au réseau. Ils doivent redémarrer proprement lors du retour du courant après une panne d'alimentation. • Les dispositifs doivent se connecter au réseau de manière ordonnée de façon à atteindre un état attendu, opérationnel et stable.
<p>10. Analyser les données fournies par la télémétrie du système</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Si des données relatives à l'usage et au volume des données sont recueillies par télémétrie auprès d'un dispositif ou de ses services, elles doivent être analysées afin d'y repérer d'éventuelles anomalies liées à la sécurité.
<p>11. Faciliter la suppression par les utilisateurs des données personnelles</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Le système doit fournir à l'utilisateur une fonctionnalité, applicable au dispositif, qui lui permet de supprimer de manière simple ses données personnelles que les services utilisent. • Le système doit fournir à l'utilisateur une fonctionnalité, applicable au dispositif, qui lui permet de supprimer ses données personnelles qui sont détenues par des services associés. • Les utilisateurs doivent disposer des instructions simples relatives à la manière de supprimer leurs données personnelles. • Les utilisateurs doivent recevoir la confirmation claire de la suppression de leurs données personnelles par le dispositif, les services et les applications.
<p>12. Faciliter l'installation et la maintenance des dispositifs</p>	<ul style="list-style-type: none"> • L'installation et la maintenance d'un dispositif doivent être facile et requérir un nombre minimal de décisions de l'utilisateur. Elles doivent se conformer aux meilleurs pratiques de sécurité en matière d'utilisabilité. • Le fabricant doit guider l'installation d'un dispositif par l'utilisateur. • Le fabricant doit guider les tests de sécurité du dispositif.
<p>13. Validation des données d'entrée</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Le logiciel du dispositif doit valider les données qui lui sont fournies grâce aux interfaces homme-machine ou au travers des interfaces de programmation.

5.7 Glossaire

Actionneur	Un actionneur est un dispositif matériel qui transforme une information digitale en un phénomène physique ou qui transforme une manifestation physique en une information digitale, ou qui opère séquentiellement ou parallèlement ces deux transformations sur des objets réels différents.
Capteur	<p>Un capteur est un dispositif qui transforme l'état d'une grandeur physique observée en une grandeur utilisable, telle qu'une tension électrique, une hauteur de mercure, une intensité ou la déviation d'une pièce.</p> <p>Le type des grandeurs physiques rendues par un capteur permet de distinguer les capteurs qui traitent des grandeurs mesurables qui varient de façon continue, et les capteurs d'état qui détectent des informations tout-ou-rien (appelés aussi « capteurs TOR »).</p> <p>Un « capteur passif » est un capteur qui nécessite un apport externe d'énergie pour fonctionner. Un « capteur actif » est lorsqu'il utilise un phénomène physique pour produire la grandeur physique que l'on attend de lui. Une loi physique connue permet de relier la grandeur physique observée et la grandeur qui est produite en sortie. Le nombre des lois physiques qui permettent de telles transformations est limité, mais le nombre de leurs applications est très élevé.</p> <p>Les grandeurs produites par un capteur peuvent être analogiques Ils produisent en sortie une infinité de valeurs qui sont éventuellement numérisées par échantillonnage. D'autres capteurs produisent des suites d'états logiques que l'on peut interpréter automatiquement comme des nombres.</p> <p>Les principaux effets physiques utilisés par les capteurs sont les suivants :</p> <ul style="list-style-type: none"> • Variation de capacité. • Variation d'inductance. • Variation de résistance. • Effet Hall. • Induction. • Effet Faraday. • Effet photoélectrique. • Dilatation, déformation. • Magnétorésistance. • Piézo-électricité. • Effet Doppler. • Principe de la corde vibrante. • Effet thermoélectrique (effet Seebeck). <p>Un capteur est similaire à un « capteur de mesure » en ce qu'il permet la saisie et la mesure d'information sous forme de grandeurs physiques, et la représentation codée de ces grandeurs. Il en diffère en ce qu'il n'est généralement qu'une interface entre un processus physique et une information exploitable.</p> <p>Un grand nombre de capteurs couramment utilisés, principalement à cause de la facilité de leur production en série, associent deux puces de silicium dont l'une produit un effet piézo-électrique, et dont l'autre est un actionneur</p>

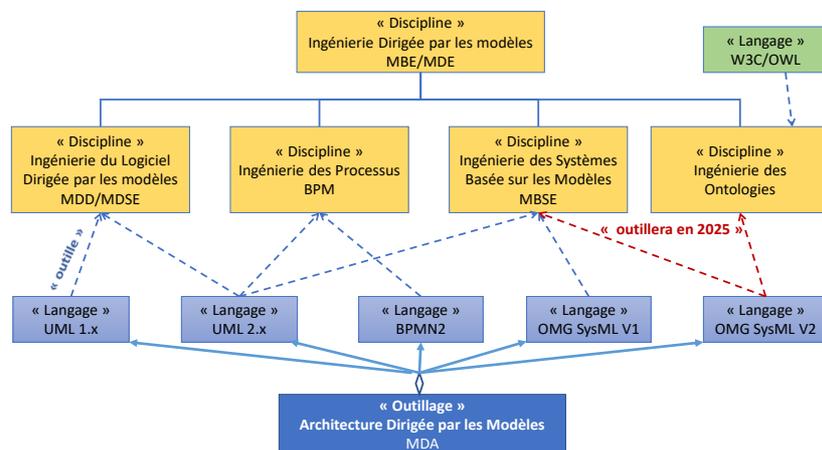
	<p>qui déclenche une action en analysant le courant que la première produit. Par abus de langage et parce qu'ils sont souvent confondus dans un même emballage on confond, la plupart du temps, le capteur et l'actionneur qui permet d'en exploiter les résultats.</p>
CEN	<p>Comité Européen pour la Normalisation : l'un des trois organismes reconnus par l'Union Européenne pour définir et porter ses normes.</p>
CENELEC	<p>Comité européen de normalisation en électronique et en électrotechnique (CENELEC). Organisme sans but lucratif composé des comités électrotechniques nationaux de 30 pays européens et de 10 comités nationaux affiliés. Le CENELEC a pour mission de fournir les normes électrotechniques afin d'aider le développement des services et des biens électrotechniques, électriques et électroniques sur le marché européen.</p>
DG CNECT	<p>La Direction générale des réseaux de communication, du contenu et des technologies - CNECT (Directorate-General for Communications Networks, Content and Technology) a pour mission de favoriser l'innovation, la créativité, la culture, la recherche de qualité et les marchés concurrentiels qui permettront à l'Europe d'entrer dans l'ère digitale.</p>
Données géospatiales	<p>Les données géospatiales fournissent de l'information sur la forme et la localisation d'objets et d'événements sur la surface terrestre. Elles comprennent l'ensemble des données géométriques (position et forme des objets), des attributs (caractéristiques des objets) et des métadonnées (information sur la nature des données).</p> <p>Source : Centre GéoStat de la bibliothèque de l'Université Laval.</p>
ETSI	<p>Institut européen des normes de télécommunications (en anglais : European Telecommunications Standards Institute). Organisme de normalisation indépendant et à but non lucratif, qui produit des normes pour l'industrie des technologies de l'information et de la communication. L'un des trois instituts avec le CEN et le CENELEC agréé par l'Union Européenne.</p>
Firmware	<p>Ou micrologiciel. Un ensemble de programmes, procédés et règles, et éventuellement de la documentation, relatifs au fonctionnement d'un ensemble de traitement de données qui engendre un état d'un ordinateur qui persiste au-delà du redémarrage de la machine physique qui l'exécute. Contrairement à "Software", "Firmware" n'a pas de traduction reconnue en français, on emploie parfois les formes « microprogramme » et « micrologiciel » en son lieu et place, mais aucune ne s'est réellement imposée car elles sont susceptibles de créer des confusions avec d'autres technologies comme la microprogrammation.</p>
GNSS	<p>Géolocalisation et Navigation par un Système de Satellites. C'est un système de géolocalisation par un système de satellites qui associe plusieurs systèmes opérationnels dont la couverture est mondiale (GPS – Etats-Unis, Galileo – Union Européenne, Glonass – Fédération de Russie). Il permet de déterminer la position et la vitesse de déplacement d'un point à la surface ou au voisinage de la Terre.</p>
Géomatique	<p>La géomatique est l'ensemble de techniques de traitement informatique des données géographiques dont certaines peuvent provenir de la télédétection aérospatiale (Source : Journal officiel du 22/09/2000).</p>

<p>IoE</p>	<p>Acronyme pour « Internet of Everything », en français « Internet de tout ».</p> <p>Concept né chez CISCO où l'on trouvait que le terme IoT avait trop d'adhérence avec les technologies de la communication de Machine à Machine (M2M). CISCO définit l'IoE comme « la connexion intelligente des personnes, des processus, des données et des choses » avec l'intention d'y inclure les problématiques liées aux interactions entre machine et homme (M2P) et les interactions entre personnes assistées par la technologie. Le concept est en contradiction avec les définitions de l'ISO et de l'UIT, et illustre quelque peu la cacophonie qui règne au sein de l'IoT à cause de la multiplicité inévitable des intérêts et des points de vue. Il reste néanmoins pertinent dans la mesure où il se propose de constituer des réseaux de personnes, de processus, de données et d'objets afin de rendre leur interconnexion plus pertinente en transformant l'information en moyen d'action.</p> <p>Est employé aussi parfois comme acronyme de « Internet of Energy ».</p>
<p>IoT</p>	<p>Acronyme pour « Internet of Things ». En français, IdO pour « Internet des Objets ».</p> <p>« Infrastructure d'entités, de personnes, de systèmes et de ressources d'information interconnectés avec des services qui traitent et réagissent aux informations du monde physique et du monde virtuel ».</p> <p>ISO/IEC 20924:2018 Technologies de l'information — Internet des objets (IdO) — Vocabulaire</p> <p>(voir le paragraphe qui lui est consacré dans ce document).</p>
<p>Localisation</p>	<p>C'est le faux ami par excellence car en anglais, ce mot désigne soit le fait de donner un caractère local ou de restreindre géographiquement l'usage quelque chose, soit encore, en médecine, le fait que quelque chose se fixe en un endroit particulier du corps humain. Dans le jargon propre au secteur informatique, il a fini par désigner la technologie qui permet de traduire efficacement les libellés et les mises en forme qu'un programme utilise dans le contexte d'une langue donnée. Le terme anglais correspondant est en fait « location ».</p> <p>On préfère le plus souvent de parler de « géolocalisation » en français et de « geolocation » en anglais. Mais le terme est ambigu car il recouvre la mesure ou l'estimation de la position d'un objet à l'aide de diverses technologies. Tout un chacun peut expérimenter l'imprécision, dans certaines circonstances, de la localisation IP qui est intégrée dans les navigateurs internet, et dont l'occurrence dépend de conditions qui sont difficilement prévisibles par l'utilisateur d'un périphérique données.</p> <p>Les principales technologies de géolocalisation connues du grand public sont le GNSS, la localisation GSM et la localisation Wifi. Mais elles ne conviennent pas à toutes les applications métiers et peuvent conduire au développement de nouvelles technologies ou de technologies hybrides celles qui combinent les avantages des technologies GNSS et UWB afin de gagner en précision et en omniprésence, mais qui peuvent nécessiter prévisiblement, dans le cadre de certaines applications, l'acquisition de terminaux et de bornes optimisés.</p>
<p>LinkSmart</p>	<p>Plateforme Open Source d'intégration d'applications IoT développée par le Fraunhofer Institute for Applied Information Technology FIT . LinkSmart</p>

Model Driven Architecture ®

s'appuie notamment sur la base de données temporelle à hautes performances [InfluxDB](#) , et sur le logiciel de visualisation de données [Grafana](#).

L'Architecture Dirigée par les Modèles (en anglais : Model Driven Architecture®, officiellement abrégé par l'acronyme MDA®) est une démarche, spécifiée par le consortium de normalisation industriel **OMG** (Object Management Group), qui encourage l'usage à grande échelle de langages basés sur des modèles dont les principaux sont UML, OMG SysML, BPMN et MOF. L'architecture dirigée par les modèles fournit des outils utilisables pour soutenir l'**Ingénierie du Logiciel Dirigée par les Modèles (MDSE/MDD)**, l'**Ingénierie Système Basée sur les Modèles (MBSE)**, la **Modélisation de Processus (BPM)**, et à moyen-terme, l'**Ingénierie des Connaissances basée sur des Modèles**.



Programme CVD

Ou Programme coordonné de divulgation des vulnérabilités (Coordinated Vulnerability Disclosure program) est un dispositif qui est créé ou souscrit par une entreprise du domaine des communications mobiles afin d'informer toutes les parties prenantes de la découverte d'une vulnérabilité, afin qu'ils puissent prendre les dispositions nécessaires afin d'en minimiser l'impact, avant que ce dernier n'affecte les utilisateurs.

SINTEF

Stiftelsen for industriell og teknisk forskning (Fondation pour la recherche scientifique et industrielle). SINTEF est une organisation indépendante dédiée à la recherche scientifique dont le siège est à Trondheim en Norvège et qui collabore, depuis sa création en 1950, avec l'Institut universitaire norvégien pour la science et la technologie (NTNU).

DG CNECT

La Direction générale des réseaux de communication, du contenu et des technologies - CNECT (Directorate-General for Communications Networks, Content and Technology) a pour mission de favoriser l'innovation, la créativité, la culture, la recherche de qualité et les marchés concurrentiels qui permettront à l'Europe d'entrer dans l'ère digitale.

UWB

L'UWB (ultra wideband), ULB (Ultra Large Bande) en français, est un protocole de communication sans fil à courte portée (norme IEEE 802.15.4a). Comme le Bluetooth et le Wi-Fi, il utilise les ondes radio, mais à une très haute fréquence (canal de 500 MHz dans la gamme de 6 GHz à 10 GHz). Un émetteur UWB peut envoyer des impulsions toutes les deux nanosecondes. L'UWB permet d'atteindre une précision de 30 cm dans le cadre d'une géolocalisation interne à un bâtiment.

Les implémentations industrielles ont montré qu'en comparaisons des terminaux qui supportent les protocoles Bluetooth et Wifi, les terminaux qui supportent l'UWB sont plus précis pour la connexion et la localisation et qu'ils consomment moins d'énergie.

5.8 Sources

- [1] R. Giffinger et N. Pichler-Milanović, *Smart Cities: Ranking of European Medium-Sized Cities* (Vienna: Centre of Regional Science, Vienna University of Technology, 2007
- [2] Catriona Manville, Gavin Cochrane, Jonathan Cave, Jeremy Millard, Jimmy Kevin Pederson, Rasmus Kåre Thaarup, Andrea Liebe, Matthias Wissner, Roel Massink, Bas Kottrink, "Mapping Smart Cities in the EU", Policy Department A: Economic and Scientific Policy, European Parliament, Brussels, 2014, IP/A/ITRE/ST/2013-02 January 2014, PE 507.480.
- [3] Eunil Park, Angel P. del Pobil, Sang Jib Kwon. "The Role of Internet of Things (IoT) in Smart Cities: Technology Roadmap-oriented Approaches", *Sustainability* 2018, 10, 1388, doi:10.3390/su10051388www.mdpi.com/journal/sustainability, MDPI, Basel.
- [4] [Extending INSPIRE to the Internet of Things through SensorThings API.](#) Alexander Kotsev, Katharina Schleidt, Steve Liang, Hylke Van Der Schaaf, Tania Khalafbeigi, Sylvain Grellet, Mickael Lutz, Simon Jirka, Mickaël Beaufile. MDPI Open Access Publishing. 2018.
- [5] [Exposing soil data with SensorThingsAPI.](#) Mickael Beaufile (BRGM), 113th OGC Technical Committee, Toulouse, France, Open Geospatial Consortium, 19 November 2019.
- [10] [Directive 2003/98/CE du Parlement Européen et du Conseil concernant la réutilisation des informations du secteur public du 17 novembre 2003](#)
- [11] [Directive \(UE\) 2019/1024 du Parlement Européen et du Conseil du 20 juin 2019 concernant les données ouvertes et la réutilisation des informations du secteur public](#)
- [12] [ETSI EN 303 645 V2.1.1. Cyber Security for Consumer Internet of Things: Baseline Requirements.](#) ETSI, juin 2020.
- [13] [Recommandation UIT-T Y.2060, Présentation générale de l'Internet des objets,](#) Union internationale des télécommunications, Juin 2012.
- [14] [Replication Reference Book and Roadmaps for MONICA Market Replication.](#) MONICA Consortium, 31 mars 2020.
- [15] [Reference Architecture Model Industrie 4.0 \(RAMI4.0\) - Status Report.](#) ZVEI – German Electrical and Electronic Manufacturers' Association Automation Division, VDI/VDE Society Measurement and Automatic Control (GMA), Frankfurt am Main, juillet 2015.
- [16] [Smart Cities in India: Framework for ICT Infrastructure.](#) Telecom Regulatory Authority Of India Mahanagar Doorsanchar Bhawan, Jawaharlal Nehru Marg, New Delhi, 22 septembre 2020.

- [17] [MONICA in Hamburg: Towards Large-Scale IoT Deployments in a Smart City.](#) Sebastian Meiling, Dorothea Purnomo, Julia-Ann Shiraishi, Michael Fischer, et Thomas C. Schmidt. Hamburg University of Applied Sciences, Agency for Geoinformation and Surveying, Free and Hanseatic City Hamburg & Senate Chancellery, Free and Hanseatic City Hamburg.
- [18] [High Level Architecture \(HLA\) Release 5.0.](#) Alliance for Internet of Things Innovation. Brussels. Décembre 2020.
- [19] [Next Generation Internet of Things: Distributed Intelligence at the Edge and Human Machine-to-Machine Cooperation.](#) Ovidiu Vermesan, Joël Bacquet. River Publishers, 15 janv. 2019, 352 pages. ISBN: 978-87-7022-008-8 et 978-87-7022-007-1.
- [20] [Internet of Things – The Call of the Edge Everything Intelligent Everywhere.](#) Ovidiu Vermesan, Joël Bacquet. River Publishers. 2020. ISBN: 978-87-7022-196-2 et 978-87-7022-195-5.
- [21] [The Industrial Internet of Things Volume G1: Reference Architecture Version 1.9.](#) Industrial Internet Consortium, a program of OMG (Object Management Group, Inc.). 19 juin 2019. 58 pages.
- [22] [The Use Case and Smart Grid Architecture Model Approach:](#) The IEC 62559-2 Use Case Template and the SGAM applied in various domains, Marion Gottschalk, Mathias Uslar, Christina Delfs, Springer, Cham, 10 janvier 2017, 93 pages, ISBN: 978-3-319-49228-2 et 978-3-319-49229-2.
- [23] [The German Standardization roadmap Smart City,](#) DKE German commission for electrical, electronic & information technologies of DIN and VDE. Frankfurt, 2014.
- [24] [Towards Generic Domain Reference Designation : How to learn from Smart Grid Interoperability.](#) Mathias Uslar, Dominik Engel. Conference: D-A-Ch Energieinformatik 2015, Karlsruhe, Volume: 1.
- [25] [German Standardization Roadmap Smart Home + Building Version 2.0.](#) DKE German commission for electrical, electronic & information technologies of DIN and VDE. Frankfurt, August 2015.
- [26] [Applying the Smart Grid Architecture Model SGAM to the EV Domain,](#) Uslar, M, Trefke J, Proceedings of the 28th EnviroInfo 2014 Conference, 821–826., BIS-Verlag, Oldenburg.
- [27] [E-Mobility Systems Architecture : a model-based framework for managing complexity and interoperability.](#) Benedikt Kirpes, Philipp Danner, Robert Basmadjian, Hermann de Meer, Christian Becker, Energy Informatics, Springer Open, 2019.
- [28] [Secure interoperable IoT smart home/building and smart energy system reference architecture.](#) Interoperable IoT Smart Homes and Grid Reference Architecture, INESC TEC TNO InterConnect consortium. 2020.
- [29] [Towards a Common Architecture Framework for ITS.](#) Antonio Kung (Trialog), Witold Kludel (Renault), Antoine Boulanger (PSA), Cyril Grépet (Trialog), Christophe Jouvray (Valeo), Laura Rodriguez (Airbus), Benjamin Venelle (Valeo), System X, August 28 2017.
- [30] [Big data : The next frontier for innovation, competition, and productivity.](#) James Manyika, Michael Chui, Brad Brown, Jacques Bughin, Richard Dobbs, Charles Roxburgh, and Angela Hung Byers, McKinsey Global Institute, 11 mai 2011.
- [31] [Gartner Glossary > Information Technology Glossary > B > Big Data](#)
- [32] [Architectures, modèles et langages de données, Architecture fonctionnelle du logiciel SGBD et diagramme de classe UML.](#) André Gamache, Département

- d'informatique et de génie logiciel, Faculté des sciences et de génie, Université Laval, Québec, Canada, 2005.
- [33] [Big Data and Science: Myths and Reality](#). H.V. Jagadish, University of Michigan, United States, in "Visions on Big Data" special issue of Big Data Research, Volume 2, Issue 2, June 2015, Pages 49-52, Elsevier
- [34] [L'aide à l'accès à l'information géographique : un environnement de conception coopérative d'utilisations de données géographiques](#). Bénédicte Bucher. Informatique et langage [cs.CL]. Université Paris VI - Pierre et Marie Curie, 2002.
- [35] [Le géoweb, un nouveau défi pour les bases de données géographiques](#), Thierry Joliveau, L'Espace géographique, 2011/2 (Tome 40), p. 154-163. DOI : 10.3917/eg.402.0154.
- [36] [Directive 2007/2/CE](#) du Parlement Européen et du Conseil concernant la réutilisation des informations du secteur public du 14 mars 2007.
- [37] [Cartographie participative, cartographie indisciplinée](#), Gilles Palsky, L'Information géographique, 2013/4 (Vol. 77), p. 10-25. DOI : 10.3917/lig.774.0010.
- [38] [Contre-cartographier le monde](#), Diane Bracco, Mona Hatoum, Kathy Prendergast., (dir. Diane Bracco et Lucie Genay, Limoges, PULIM, collection "Espaces Humains"). 2021. (hal-03119283).
- [39] [Renversements décoloniaux de la cartographie de l'Arctique](#), Daniel Chartier, Captures, vol. 5, no 1 (mai 2020), dossier « Cartographies actuelles. Enjeux esthétiques, épistémologiques et méthodologiques ».
- [40] [Deep fake geography? When geospatial data encounter Artificial Intelligence](#). Bo Zhao, Shaozeng Zhang, Chunxue Xu, Yifan Sun & Chengbin Deng. Cartography and Geographic Information Science, Volume 48, Numéro 4, pages 338-352, DOI: 10.1080/15230406.2021.1910075.
- [41] [La géographie et la géomatique au crible de la néogéographie](#). Thierry Joliveau. *Tracés*, revue de recherche en sciences humaines et sociales. Octobre 2010. Hors-Série 2010. À quoi servent les sciences humaines ? (II). ENS Lyon et Institut des sciences humaines et sociales du CNRS. ENS Éditions. DOI : 10.4000/traces.4847.
- [42] [Knowledge Management in Smart City Development: A Systematic Review](#). John Israilidis, Kayode Odusanya, Muhammad Mazhar. Nottingham Business School, Nottingham Trent University, Nottingham, UK.
- [43] [The Potential of the Internet of Things in Knowledge Management System](#). Artur Rot, Malgorzata Sobinska. Position Papers of the Federated Conference on Computer Science and Information Systems pp. 63–68. 2018. ACSIS, Vol. 16, DOI : 10.15439/2018F379, ISSN 2300-5963.
- [44] [La gestion des connaissances, du concept à l'application au sein d'une institution publique : Le Conseil Régional PACA](#). Sabiha Homri. Thèse pour l'obtention du grade de Docteur en Science de l'information et de la communication d'Aix-Marseille Université sous la direction de Guy Drouot et Alain Rufino. Institut d'Etudes Politiques d'Aix-En-Provence. 12 décembre 2013.
- [45] [MKSM Méthode pour la gestion des connaissances](#). Jean-Louis Ermine, Mathias Chaillot, Philippe Bigeon, Boris Charreton, Denis Malavieille. Commissariat à l'Énergie Atomique. "Ingénierie des systèmes d'information", AFCET-Hermès, 1996, Vol. 4, n° 4, pp. 541-575.

- [46] [Domain knowledge Interoperability to build the Semantic Web of Things.](#) Amelie Gyrard, Christian Bonnet and Karima Boudaoud. W3C Workshop on the Web of Things, 25–26 June 2014, Berlin, Germany.
- [47] [Overcoming the pitfalls of ontology authoring: Strategies and implications for tool design.](#) Markel Vigo, Samantha Bail, CarolineJay, RobertStevens. School of Computer Science, University of Manchester, Manchester, UK. 30 juillet 2014. International Journal of Human-Computer Studies. Volume 72, Issue 12, December 2014, Pages 835-845. DOI : 10.1016/j.ijhcs.2014.07.005.
- [48] [Impact of knowledge management on construction projects.](#) Subashini Suresh, Raymond Olayinka, Ezekiel Chinyio, Suresh Renukappa. Proceedings of the Institution of Civil Engineers, Management, Procurement and Law 170 February 2017 Issue MP1. Pages 27–43. DOI : 10.1680/jmapl.15.00057.
- [49] [Engineering Knowledge Extraction for Semantic Interoperability Between CAD, KBE and PLM Systems.](#) Jullius Cho, Thomas Vosgien, Detlef Gerhard. 14th IFIP International Conference on Product Lifecycle Management (PLM), Jul 2017, Seville, Spain. pp.568-579, DOI : 10.1007/978-3-319-72905-3_50. HAL : 01764169f.
- [50] [Note d'information DGP/SIAF/2014/007 du 7 octobre 2014 relative à la mise en œuvre d'un environnement de création, de gestion et de diffusion de vocabulaires \(listes d'autorité, thésaurus, terminologies\).](#) République Française. Ministère de la culture et de la communication. Direction générale des patrimoines. Service interministériel des Archives de France.
- [51] [Le traitement automatique de la relation partie-tout en terminologie.](#) Gabriel Otman. Faits de langues, n°7, Mars 1996. La relation d'appartenance. pp. 43-52. DOI : 10.3406/flang.1996.1072.
- [52] [Organizational knowledge in the I4.0 using BPMN: a case study.](#) Juliana Salvadorinho, Leonor Teixeira. International conference on enterprise information systems/International Conference on project management/International Conference on Health and Social Care Information Systems and Technologies 2020. Procedia Computer Science. Volume 181, 2021, Pages 981-988. Elsevier. ScienceDirect. 22 février 2021. DOI : 10.1016/j.procs.2021.01.266.
- [53] [De quelles façons l'intelligence artificielle se sert-elle des neurosciences ?](#) Frédéric Alexandre. Laboratoire Bordelais de Recherche en Informatique, Inria Bordeaux - Sud-Ouest, IMN - Institut des Maladies Neurodégénératives [Bordeaux]. 2019. HAL : hal-02388017.
- [54] [Intelligent Model Of Ecosystem For Smart Cities Using Artificial Neural Networks.](#) Sagheer Abbas, Yousef Alhwaiti, Muhammad Saleem, Munir Ahmad, Muhammad Asif, Nouh Sabri. Intelligent Automation and Soft Computing. 30^e année, numéro 2, pages 513-525. ISSN : 1079-8587 et 2326-005X Taylor & Francis. Londres. Août 2021. DOI :10.32604/iasc.2021.018770.
- [55] [Ortolang, Portail lexical. Lexicographie. « Ontologie ».](#) Centre National de Ressources Textuelles et Lexicales. CNRS. Atilf France. 2022.
- [56] [RDF 1.1 Concepts and Abstract Syntax.](#) W3C Recommendation 25 February 2014.
- [57] [Shape Expressions Language 2.1.](#) W3C. Final Community Group Report 8 October 2019.
- [58] [RDF Schema 1.1.](#) Dan Brickley, R.V. Guha. W3C Recommendation 25 February 2014.

- [59] [La centralité des ontologies, du Web Sémantique des utilisateurs au Web Sémantique des objets](#). § 7.2.2 p. 96. Nathalie Hernandez. Intelligence artificielle [cs.AI]. Université de Toulouse, 24 août 2020. HAL :tel-02919961.
- [60] [Astrea: Automatic Generation of SHACL Shapes from Ontologies](#). Andrea Cimmino, Raúl García-Castro. In: Harth A. et al. (eds) The Semantic Web. ESWC 2020. pp 497-513. Lecture Notes in Computer Science, vol 12123. Springer, Cham. DOI : 10.1007/978-3-030-49461-2_29
- [61] [Shapes Constraint Language \(SHACL\)](#). W3C Recommendation 20 July 2017.
- [62] [Towards Shaping ISO 26262-compliant Resources for OSLC-based Safety Case Creation](#). Barbara Gallina, Julieth Patricia Castellanos Ardila, Mattias Nyberg. 4th International Workshop on Critical Automotive Applications: Robustness & Safety (CARS 2016), Sep 2016, Göteborg, Sweden. HAL: hal01375489.
- [63] [SHACL and OWL Compared](#). Holger Knublauch. 17 août 2017. SPINRdf.org.
- [64] [La sémantique](#). Christian Touratier. Armand Colin, 8 septembre 2010, 288 pages E-ISBN : 978-2-200-26022-4, ISBN : 978-22-0026-022-4. Worldcat : 800726603.
- [65] [État de l'art Ontologies et Intégration/Fusion d'ontologies](#). Gaëlle Lortal. Rapport de stage. Laboratoire Dialogue et Intermédiations Intelligentes de la Direction des Interactions Humaines DIH/D2I au centre de Recherche et Développement de France Télécom (FTR&D). Septembre 2002. 55 pages [Fréquemment cite notamment par [64]].
- [66] [WordNet et son écosystème : un ensemble de ressources linguistiques de large couverture](#). François-Régis Chaumartin. Colloque BD lexicales, Avril 2007, Montréal, Canada. HAL : 00611240.
- [67] [Une ontologie linguistique au service de la didactique du lexique](#). Ophélie Tremblay, Alain Polguère. 4e Congrès Mondial de Linguistique Française (CMLF 2014), juillet 2014, Berlin, Allemagne. pp.1173-1188, EDP Sciences, 2014. DOI : 10.1051/shsconf/20140801383. HAL : hal-01026114.
- [68] [Analyse sémantico-lexicale et terminologique](#). Olga Rocío Serrano-C. Université ECCI, Bogota, Colombie. Folios n° 47. 2018, n.47, pp.153-163. SciELO Analytics. Scientific Electronic Library Online. FAPESP CNPq BIREME FapUnifesp. São Paulo (Brésil). ISSN 0123-4870.
- [69] [Ontologie\(s\)](#). François Rastier. Revue des sciences et technologies de l'information. Revue d'Intelligence artificielle, 2004, vol. 18, n°1, p. 15-40.
- [70] [La propriété collective en Italie](#). Gabriella Corona. In : Les propriétés collectives face aux attaques libérales (1750-1914) : Europe occidentale et Amérique latine. Rennes : Presses universitaires de Rennes, 2003. ISBN : 9782753524347. DOI : 10.4000/books.pur.23661.
- [71] [Fiche technique 13 : lexique national d'urbanisme](#). Décret relatif à la partie réglementaire du livre Ier du code de l'urbanisme et portant modernisation du contenu des plans locaux d'urbanisme: lexique national de l'urbanisme. Décret 2015-1783 du 20 décembre 2015. Centre d'études et d'expertise sur les risques, l'environnement, la mobilité et l'aménagement (CEREMA). Bron. 27 juin 2017.
- [72] [Ontologies : catégories linguistiques, catégories conceptuelles et l'idéal d'un monde commun](#). Bridget Copley, Isabelle Roy. Un monde commun. Comprendre le monde pour mieux l'habiter ensemble : les savoirs des humanités et des sciences sociales, inPress. Université Paris 8 Vincennes Saint-Denis. HAL : hal-03515627.

- [73] [How We Built a Spatial Subject Classification Based on Wikidata](#). Adrian Pohl. Code4Lib Journal. Issue 51, 2021-06-14. ISSN : 1940-5758.
- [74] [NECKAR: A Named Entity Classifier for Wikidata](#). Johanna Geiß, Andreas Spitz et Michael Gertz. Institute of Computer Science, Heidelberg University. In : Proceedings of the Int. Conference of the German Society for Computational Linguistics and Language Technology (GSCL '17), September 13-14, 2017, Berlin, Germany. P. 115-129. Directeurs d'édition : Georg Rehm, Thierry Declerck. ISBN : 978-3-319-73705-8.
- [75] [State of the Union: A Data Consumer's Perspective on Wikidata and Its Properties for the Classification and Resolution of Entities](#). Andreas Spitz, Vaibhav Dixit, Ludwig Richter, Michael Gertz and Johanna Geiß. Institute of Computer Science, Heidelberg University. In : Workshops of the Tenth International AAAI Conference on Web and Social Media. Association for the Advancement of Artificial Intelligence Press. Palo Alto, California. 2016.
- [76] [Style Guide for Documentation of the CASE \(Cyber-investigation Analysis Standard Expression\) Ontology](#). Cyber Domain Ontology Project. 14 January 2020.
- [77] [Entrée « coche »](#). [Diccionario de la lengua española \(RAE\)](#). Vingtième édition. Actualisation 2021. Real Academia Española. 2014.
- [78] [Entrée « carro »](#). [Diccionario de la lengua española \(RAE\)](#). Vingtième édition. Actualisation 2021. Real Academia Española. 2014.
- [79] [Entrée « coche »](#). [Diccionario del español de México \(DEM\)](#). El Colegio de México. Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM). 2022.
- [80] [Entrée « carro »](#). [Diccionario del español de México \(DEM\)](#). El Colegio de México. Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM). 2022.
- [81] [Entrée « parc de stationnement »](#). [Grand dictionnaire terminologique \(GDT\)](#). Office québécois de la langue française, 2006.
- [82] [Facebook parent Meta fined €17m by Irish Data Protection Commission](#). Charlie Taylor. 15 mars 2022. The Irish Times. The Irish Times DAC. Dublin.
- [83] [Tags for Identifying Languages - Best Current Practice – BCP 47](#). A. Phillips, M. Davis. W3C Network Working Group. Septembre 2009.

6. TABLE DES MATIÈRES

Mots clés principaux (Fra).....	1
Mots clés spécifiques au livrable (Fra).....	1
Main key words (Eng).....	1
Deliverable key words (Eng).....	1
1. RÉSUMÉ / ABSTRACT	2
2. DÉFINITIONS	4
3. BESOINS ET CAS D'USAGES	10
4. DONNÉES SMART CITY	15
4.1. Présentation générale	15
4.2. Cadrage : cas d'usage et données nécessaires	19
4.3. Références normatives et autres documents de référence	21
4.4. Enjeux majeurs relatifs aux données Smart City	24
4.5. Caractérisation des données Smart City	30
Thématiques des données.....	30
Critères de caractérisation des données.....	34
4.6. État des données géospatiales / SIG et BIM.....	34
4.7. État des données IOT	41
4.8. Synthèse des données Smart City	44
4.9. Bibliographie et références web	46
4.10. Tableau de synthèse Données Smart Cities Géospatial / SIG	48
4.11. Tableau de synthèse Données Smart Cities Géospatial / BIM	52
5. IOT	54
5.1 Introduction.....	54
Considérations générales	54
La définition du client	55
Définition de l'IoT	57
5.2 La nécessité de nouvelles approches	59
Des consensus difficiles à établir	59
Approches analytiques de l'IoT	60
L'approche du projet européen MONICA	62
Le modèle fonctionnel AIOTI.....	63
L'approche tridimensionnelle de l'interopérabilité IoT	63
La SmartCity vue comme un système de systèmes	63
Intérêt et utilisation des modèles	66
Modèles sectoriels pour l'interopérabilité de l'IoT	67
L'approche tridimensionnelle de l'IoT appliquée à la ville intelligente.....	70
Que faut-il retenir de la multiplicité des approches ?.....	72
5.3 Nouveaux concepts, Nouvelles approches.....	72
Des technologies qui évoluent rapidement	72
Les mégadonnées	74
Management des connaissances	76
Organisation des connaissances	86
Outils traditionnels de management des connaissances.....	86

Le besoin de données géolocalisées	97
Importance de la métadonnées.....	98
5.4 Cadre juridique Européen	99
Les directives Européennes.....	99
Directive Open Data	100
5.5 Panorama des normes.....	101
OGC SensorThings	101
Utilisations avancées d’OGC SensorThings.....	106
API4Inspire.....	108
Web of Things.....	109
5.6 Enjeux	112
Protection et sécurité des données personnelles	112
5.7 Glossaire	116
Actionneur	117
Capteur	117
CEN	118
CENELEC	118
DG CNECT	118
Données géospatiales.....	118
ETSI.....	118
Firmware	118
GNSS.....	118
Géomatique	118
IoE.....	119
IoT	119
Localisation	119
LinkSmart.....	119
Model Driven Architecture ®	120
Programme CVD	120
SINTEF	120
DG CNECT	120
UWB	121
5.8 Sources	121
6. TABLE DES MATIÈRES	127