



REPUBLIQUE ALGERIENNE DEMOCRATIQUE ET
POPULAIRE
MINISTERE DE L'ENSEIGNEMENT SUPERIEUR ET DE LA
RECHERCHE SCIENTIFIQUE
Université Echahid Echeikh Larbi Tebessi de Tebessa



Faculté des Sciences Exactes et des Sciences de la Nature et de la Vie

Département des Mathématiques et Informatiques
Laboratoire de Mathématiques, Informatiques et Systèmes

La Découverte Des Services Dans L'Internet Des Objets

Filière : informatique

Spécialité: Système d'information coopératif

Présentée par : **BEKKAI Besma**

**En vue de l'obtention du diplôme de
Doctorat troisième cycle
en Informatique**

Soutenue le : Juin 2023 devant le jury :

Pr. Laouar Med Ridda	Université Laarbi Tébéssi- Tébéssa	Président;
Pr. Derdour Makhlouf	Université Laarbi Ben Mhid- Oum El bouaghi	Examineur;
Dr. Maarouk Toufik	Université Abbes Laghrour- Khenchela	Examineur;
Pr. Bendjenna Hakim	Université Laarbi Tébéssi- Tébéssa	Rapporteur;

Année Universitaire: 2022 - 2023

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

Je dédie ce travail :

À mon père...

À ma chère mère ...

*Aux deux êtres les plus chers au monde, qui m'ont soutenue ,
encouragée et me guider dans mes études.*

*Ils étaient une flambeau de lumière
qui se renforce de jour en jour et qui rafraîchit mon chemin avec plein
de passions,
d'enthousiasme, de bonheur et d'aspirations
Pour tout l'amour, la patience qu'ils ont su me donner et la fierté
qu'ils ressentent
en moi.*

À mon frère, et mes sœurs

À mes nièces et mes neveux et leurs pères.

Et tous mes amis(es) et collègues.



Remerciements

Tout d'abord, je remercie ALLAH le Tout Puissant qui m'a donné la force, la volonté, la patience et le courage pour aller jusqu'au bout de mon travail.

Je tiens à remercier et avec beaucoup de gratitude mon directeur de thèse Pr. Bendjenna Hakim pour ses encouragements, sa confiance, son expertise, ses précieux conseils, ses élucidations et ses orientations qui m'ont permis de mener cette thèse dans les meilleures conditions possibles.

Mes grands remerciements aux membres de Jury pour m'avoir fait l'honneur d'accepter l'évaluation de mon travail.

Je remercie infiniment mes parents, mon frère et mes sœurs pour leur précieux soutien, leur confiance en moi, leurs encouragements et leurs sacrifices avec moi tout au long de cette thèse.

Enfin, tous les remerciements à mes enseignants, mes collègues et tout autre intervenant de près ou de loin pour leurs précieuses aides et encouragements dans le cadre de la réalisation de cette thèse.

Merci



Résumé

Les nouvelles technologies ont rendu la vie des gens plus pratique et plus facile qu'auparavant. Avec l'évolution de la technologie de l'information, l'Internet des Objets (IdO), en tant que technologie émergente, est introduit dans le processus de l'évolution. Durant l'apparition de l'Internet des objets, le partage de données et les connexions entre les systèmes, les dispositifs et les individus ont été facilités, et les dispositifs courants sont dotés de détecteurs et d'applications afin de fournir leurs fonctions via des services. Effectivement, l'IoT fournit une plate-forme où les objets courants deviennent plus intelligents qu'auparavant, les communications habituelles deviennent utiles et les processus quotidiens deviennent intelligents. À ce sujet, pour offrir de nouveaux services de l'IoT, plusieurs protocoles variés sont suggérés. Puisque le chiffre de dispositifs ou d'objets s'accroît graduellement, et que le nombre de services s'accroît également, la découverte et la localisation de services adaptés deviennent un défi indispensable, et les méthodes classiques de la découverte des services ne suffisent pas pour traiter cette difficulté.

Dans l'environnement de l'IoT, la découverte des services adaptés est face à divers défis et conditions, tels que l'environnement hautement dynamique, la large distribution et la diversité des services disponibles. De plus, les appareils de l'IoT ont plusieurs limitations en matière de transmission, de communication, de traitement et de la quantité d'énergie. Aussi, choisir des services de l'IoT parmi de multiples services similaires est une difficulté compliquée. Par conséquent, le processus de sélection et de découverte des services de l'IoT deviendrait plus délicat. À ce point, la nature dynamique des services de l'IoT et le nombre démesuré de services disponibles sont des difficultés essentielles qui entraînent une dégradation conséquente de la qualité de service.

La découverte des services fait référence au processus de recherche de services adaptés en fonction des demandes des clients. Autrement dit, il s'agit d'une technique efficace qui permet au réseau de trouver un dispositif adapté qui fournira les services requis. Dans les environnements de l'IoT, la méthode de découverte de services vise à opter les meilleures ressources de l'IoT parmi les ressources candidates qui fournissent les services requis. Une technique de découverte des services efficace doit prendre en compte certaines mesures qualitatives essentielles comme l'équilibrage de la charge, la tolérance aux pannes, le temps de livraison des demandes, la latence, la disponibilité, le développement et la mobilité.

D'autre part, la découverte des services est l'un des défis essentiels pour les processus de sélection et de composition de service car la découverte des services est une exigence de base pour la composition de services. Les services disponibles peuvent être combinés pour offrir un service composé adapté aux demandes des utilisateurs. Par exemple, le service de température peut être combiné avec le service de détection d'humidité dans un composite de climatisation. Avec l'augmentation rapide des demandes des utilisateurs, le rôle des approches de composition des services pour répondre aux exigences des consommateurs devient important. Durant de la dernière décennie, différentes solutions au problème de la composition des services ont été suggérées.

Dans la première partie, l'approche suggérée se compose de trois étapes, à savoir : La transmission et la réception de neurotransmetteur, le traitement de neurotransmetteur et la détermination de l'état du système. Dans la seconde partie, l'approche proposée comporte cinq modules, qu'on cite comme suit : Un module de communication, un module de suivi, un module de traitement interne, un module d'interface et un module de contrôle.

Mots clés : Internet des Objets, les services web, la découverte des services.

Abstract

New technologies have made people's lives more convenient and easier than before. With the evolution of information technology, the Internet of Things (IoT), as an emerging technology, is introduced into the process of evolution. During the emergence of the Internet of Things, data sharing and connections between systems, devices, and individuals have been facilitated, and common devices are equipped with sensors and applications to provide their functions through services. Indeed, IoT provides a platform where common objects become smarter than before, routine communications become useful, and everyday processes become smart. In this regard, to offer new IoT services, several different protocols are suggested. As the number of devices or objects gradually increases, and the number of services also increases, the discovery and localization of adapted services become an indispensable challenge, and traditional methods of service discovery are not sufficient to address this challenge.

In the IoT environment, the discovery of tailored services is faced with various challenges and conditions, such as the highly dynamic environment, wide distribution, and diversity of services available. In addition, IoT devices have several limitations in terms of transmission, communication, processing, and energy quantity. In addition, choosing IoT services from multiple similar services is a complicated challenge. As a result, the process of selecting and discovering IoT services would become more challenging. At this point, the dynamic nature of IoT services and the disproportionate number of services available are key challenges that lead to a consequent degradation of service quality.

Service discovery refers to the process of finding tailored services based on client requests. In other words, it is an efficient technique that allows the network to find a suitable device that will provide the required services. In IoT environments, the Service Discovery Method aims to choose the best IoT resources among the candidate resources that provide the required services. An efficient service discovery technique must take into account certain essential qualitative measures such as load balancing, fault tolerance, demand delivery time, latency, availability, development and mobility.

On the other hand, service discovery is one of the key challenges for service selection and composition processes, as service discovery is a basic requirement for service composition. The services available can be combined to offer a composite service adapted to users' requests. For example, the temperature service can be combined with the humidity detection service in an air conditioning composite. With rapidly increasing user demands, the role of service mix

approaches in meeting consumer demands is becoming important. Over the past decade, different solutions to the problem of service mix have been suggested.

In the first part, the suggested approach consists of three steps, namely: Transmission and reception of neurotransmitters, treatment of neurotransmitters, and determination of system status. In the second part, the suggested approach consists of five modules: A communication module, a monitoring module, an internal processing module, an interface module, and a control module.

Keywords: Internet of things, web services, the discovery of services.

ملخص

ان التقنيات الجديدة جعلت حياة الناس أكثر ملائمة وأسهل من ذي قبل. مع تطور تكنولوجيا المعلومات، يتم ادراج انترنت الأشياء كتكنولوجيا ناشئة في عملية التطور - خلال ظهور انترنت الأشياء، تم تسهيل تبادل البيانات والاتصالات بين الأنظمة، الأجهزة والافراد وتم تزويد الأجهزة الشائعة بأجهزة استشعار وتطبيقات لتوفير وظائفها من خلال الخدمات. في الواقع، توفر انترنت الأشياء منصة حيث تصبح الأشياء الشائعة أكثر ذكاء من ذي قبل وتصبح الاتصالات الروتينية مفيدة والعمليات اليومية ذكية. في هذا الصدد، من أجل تقديم خدمات جديدة في مجال انترنت الأشياء، تم اقتراح عدة بروتوكولات مختلفة مع تزايد عدد الأجهزة او الأشياء تدريجيا وزيادة عدد الخدمات أيضا، يصبح اكتشاف الخدمات المكيفة وتوطينها تحديا لا غنى عنه والطرق التقليدية لاكتشاف الخدمات لا تكفي لمعالجة هذا التحدي.

في بيئة انترنت الأشياء، يواجه اكتشاف الخدمات المكيفة تحديات وظروفا مختلفة مثل البيئة الديناميكية للغاية، التوزيع الواسع وتنوع الخدمات المتاحة. بالإضافة الى ذلك، فان أجهزة انترنت الأشياء لها عدة قيود من حيث النقل، الاتصالات، المعالجة وكمية الطاقة. أيضا، يعد اختيار خدمات انترنت الأشياء من بين الخدمات المماثلة المتعددة تحديا معقدا. نتيجة لذلك، ستصبح عملية اختيار واكتشاف خدمات انترنت الأشياء أكثر صعوبة. في هذه المرحلة، تشكل الطبيعة الديناميكية لخدمات انترنت الأشياء والعدد اللامحدود من الخدمات المتاحة تحديات رئيسية تؤدي الى تدهور جودة الخدمات نتيجة لذلك.

يشير اكتشاف الخدمة الى عملية البحث على خدمات ملائمة بناءا على طلبات العملاء. بعبارة أخرى، انها تقنية فعالة تسمح للشبكة بالعثور على جهاز مناسب يوفر الخدمات المطلوبة. في بيئات انترنت الأشياء، تهدف طريقة اكتشاف الخدمة الى اختيار أفضل موارد انترنت الأشياء من بين الموارد المرشحة التي تقدم الخدمات المطلوبة. يجب على تقنية اكتشاف الخدمات الفعالة ان تأخذ بعين الاعتبار بعض القياسات النوعية الأساسية مثل موازنة الاحمال، تسامح الأعطال، وقت الاستجابة، وقت تسليم الطلبات، التوافر، التطوير والتنقل.

من ناحية أخرى، يعد اكتشاف الخدمة أحد التحديات الرئيسية لعمليات اختيار وتركيب الخدمة حيث ان اكتشاف الخدمة هو مطلب أساسي لتكوين الخدمات. يمكن الجمع بين الخدمات المتاحة لتقديم خدمة مركبة مكيفة مع طلبات المستخدمين. على سبيل المثال، يمكن دمج خدمة درجة الحرارة مع خدمة الكشف عن الرطوبة في مركب تكييف الهواء. مع الزيادة السريعة لطلبات المستخدمين، أصبح دور مقارنة تركيب الخدمات في تلبية طلبات المستهلكين امرا هاما. على مدى العقد الماضي، تم اقتراح حلول مختلفة لمشكلة تركيب الخدمات .

في الجزء الأول، تتكون المقاربة المقترحة من ثلاث خطوات وهي: نقل واستقبال الناقل العصبي، معالجة الناقل العصبي وتحديد حالة النظام. في الجزء الثاني، تتألف المقاربة المقترحة من خمس وحدات يرد ذكرها على النحو التالي: وحدة اتصال، وحدة متابعة، وحدة معالجة داخلية، وحدة مواجهة ووحدة مراقبة.

الكلمات الرئيسية: إنترنت الأشياء، خدمات الويب، اكتشاف الخدمات

Table des matières

<i>Remerciements</i>	<i>I</i>
<i>Résumé</i>	<i>II</i>
<i>Abstract</i>	<i>IV</i>
<i>ملخص</i>	<i>VI</i>
Table des matières	VII
Liste des Tableaux	IX
Liste des Figures	IX
Introduction Générale	01
Chapitre1 : Internet des Objets (IdO)	07
1.1 Introduction	07
1.2 Définition de l'Internet des Objets	09
1.3 Historique de l'IoT	10
1.4 Les caractéristiques de l'IoT	11
1.5 Architecture de l'IoT	13
1.5.1 la couche perception	13
1.5.2 la couche réseau	14
1.5.3 la couche application	14
1.6 Les technologies de transmission dans l'IoT	15
1.6.1 RFID	16
1.6.2 NFC	16
1.6.3 ZigBee	17
1.6.4 Bluetooth BLE	18
1.6.5 Z-Wave	18
1.6.6 Wifi ou le standard 802.11	19
1.6.7 IPv6 over Low Power Wireless Personnel Area Network (6LoWPAN)	19
1.6.8 Long Range Wide-Area-Networks (LoRaWAN)	20
1.7 Les protocoles de communication applicatifs pour l'IoT	21
1.7.1 CoAP	22
1.7.2 MQTT	23
1.7.3 AMQP	24
1.7.4 XMPP	24
1.7.5 DDS	25
1.8 Les domaines d'applications de l'IoT	28
1.8.1 Domotique	28
1.8.2 La santé	29
1.8.3 La ville intelligente	30
1.8.4 Transport et logistique	31
1.8.5 Agriculture intelligente	32
1.9 Les enjeux imposés par l'IoT	32
1.10 Les avantages et les inconvénients de l'IoT	39
1.10.1 Avantages	40
1.10.2 Inconvénients	41
1.11 Conclusion	43
Chapitre 2: La découverte des services web	45
2.1 Introduction	45
2.2 Concepts de base sur les services web	45
2.2.1 Définition de services web	45
2.2.2 Caractéristiques des services web	47
2.2.3 Intérêt des services web	48

2.3 Architecture orientée service.....	49
2.4 Les technologies clés des services web.....	52
2.5 Les avantages et inconvénients des services web.....	59
2.5.1 Avantages	59
2.5.2 Inconvénients	61
2.6 Notions de base sur les techniques des services web.....	62
2.6.1 Définition de la découverte des services web	63
2.6.2 Critères de découverte des services web	64
2.7 Types de mécanismes de découverte des services web.....	65
2.8 Approches de la découverte des services web.....	66
2.8.1 Approches syntaxiques.....	67
2.8.2 Approches sémantiques.....	69
2.9 Travaux connexes sur les différentes techniques de la découverte des services web dans l'IoT	71
2.9.1 Approches basées sur le contexte.....	72
2.9.2 Approches basées sur l'énergie	73
2.9.3 Approches basées sur la qualité de service.....	74
2.9.4 Approches basées sur la sémantique	75
2.10 Conclusion.....	77
Chapitre 3 : Une approche pour améliorer l'auto-organisation inspirée de mécanisme de cellules nerveuses	79
3.1 Introduction.....	79
3.2 Le système complexe	80
3.3 Auto-organisation.....	80
3.4 Emergence.....	80
3.5 Auto-organisation VS émergence.....	80
3.5.1 Similitude.....	80
3.5.2 Différence.....	81
3.6 Mécanismes d'auto-organisation.....	81
3.6.1 Système immunitaire	81
3.6.2 La coopération	82
3.6.3 Les systèmes multi agents	82
3.7 Une approche pour améliorer l'auto-organisation inspirée du mécanisme de cellules nerveuses dans l'IoT	83
3.7.1 Le mécanisme des cellules nerveuses et son implication dans l'IoT.....	83
3.7.2 Les étapes de l'approche proposée	86
3.8 Un système de découverte des services inspirée du mécanisme de cellules nerveuses dans l'IoT	91
3.8.1 le système de découverte proposé.....	91
3.8.2 La structure interne des objets.....	91
3.8.3 Le comportement des objets.....	96
3.8.4 Diagramme d'interaction de la découverte des services.....	98
3.8.5 Diagramme d'interaction de la détection d'une panne.....	99
3.8.6 Implémentation.....	100
3.9 Conclusion.....	102
Conclusion Générale.....	104
Liste des Publications et Communications.....	108
Bibliographie.....	110

Liste des tableaux

Tableau 1.1	Comparaison entre les technologies de transmission de l'IoT	21
Tableau 1.2	Comparaison entre les différents protocoles de l'IoT	27
Tableau 2.1	Comparaison entre les différentes techniques de la découverte de services dans l'IoT basée sur plusieurs mesures	76

Table des figures

Figure 1.1	Architecture de l'IoT (MOUHA et al., 2021)	13
Figure 1.2	Les technologies de communications de l'IoT (Gupta et Quamara, 2020).	15
Figure 1.3	Les domaines d'applications de l'IoT (Gupta et Quamara, 2020)	28
Figure 2.1	Architecture des services web	51
Figure 2.2	Spécification d'un service web avec WSDL	54
Figure 2.3	Structure d'un message SOAP	56
Figure 2.4	Le contenu de l'annuaire UDDI	59
Figure 3.1	Diagramme de SELFOA	91
Figure 3.2	La structure interne des objets	93
Figure 3.3	Le choix du prochain objet	95
Figure 3.4	Diagramme d'interaction de la découverte des objets	99
Figure 3.5	Diagramme d'interaction de la détection d'une panne	100

Introduction Générale

Introduction Générale

a. Mise en contexte

Durant les décennies passées, il y a eu des développements étonnants dans les technologies de communication et de mise en réseau qui a donné naissance à de nombreuses structures de réseaux d'information et la plupart des dispositifs qui nous entourent aujourd'hui prennent en charge un certain aspect d'informatique et de communication.

L'incorporation de dispositifs électroniques tels que détecteur(s), actionneur (s) et radio (Radio Frequency Identification - RFID) sensiblement dans toutes les entités physiques, les met en ligne, communiquer et interagir les unes avec les autres et de collaborer avec d'autres entités pour inventer de nouvelles applications/services et aboutir à des finalités communes. Ces entités physiques de toutes sortes sont nommées " objets ". Au cours du temps, le chiffre de ces objets s'accroît vivement, Il y a à présent 30,7 milliards de dispositifs connectés, et d'ici 2025, il devrait y en avoir 75,44 milliards (**Statista, 2022**).

Ce paradigme s'appelle l'Internet des objets (IdO). L'objectif de l'IdO est d'aider à la connexion d'objets n'importe quand, en tous lieux, avec n'importe quoi et n'importe qui, parfaitement en pratiquant n'importe quelle destination /réseau et n'importe quel service.

Plusieurs chercheurs ont caractérisé l'IdO de même qu'un système indépendant. La notion autonome s'inspire du système nerveux indépendant du corps de l'homme. Il peut inspecter, vérifier et remédier efficacement le corps humain sans intervention extérieure. Un système autonome (Autonomous Control System - ACS) peut se familiariser aux épreuves imprévues de l'environnement informatique, peut le conduire et sauvegarder contre les défaillances et les pannes avec un minimum ou pas d'intervention humaine. Tel qu'expliqué par Paul Horn, les systèmes indépendants ont beaucoup de particularités ou propriétés, et ces caractéristiques sont fréquemment dénommées auto-propriétés (self- propriétés). Parmi ces caractéristiques, on trouve :

L'auto-configuration (self-configuration) signifie que l'ACS peut ajouter de nouveaux composants, configurer des composants, supprimer des composants anciens ou défectueux et se reconfigurer avec peu ou pas d'intervention humaine (**Ahuja et al.,2014**).

L'autoréparation (self-healing) signifie que l'ACS peut se gérer lui-même et gérer ses composants.

Il peut détecter, supprimer ou remplacer un composant défectueux par un autre sans perturber le système. D'autre part, il doit prévoir les problèmes et prévenir les échecs (**Ahuja et al.,2014**).

Auto-amélioration (self-optimisation), cela implique qu'un système indépendant peut perfectionner ses constituants et valoriser la prestation et l'utilisation des ressources pour répondre aux exigences des usagers et perfectionner le rendement, en plus d'optimiser l'utilisation des ressources restreintes telles que (la mémoire, la bande passante, le processeur) et plus fondamental encore, la capacité de l'IoT matériel est essentielle pour des développements de l'IoT durables et à long terme (**Salehie et al.,2005**).

ACS doit identifier et détecter les menaces ainsi que soutenir et protéger les constituants contre diverses menaces malintentionnées. Vous devez également prévoir les difficultés relativement aux rapports des détecteurs et essayer de les écarter. C'est ce qu'on appelle l'autoprotection (self –protection) (**Ahuja et al.,2014**).

Divers évènements retrouvés par le système ne sont pas connus durant l'étape de spécification et d'élaboration du système, par exemple, dans les systèmes de l'IoT et spécialement dans les réseaux de détecteurs et d'actionneurs sans fil, il est habituel que des objets réintègrent, et abandonnent le réseau systématiquement. Pour cela, le réseau doit pouvoir se restructurer vis-à-vis cette topologie variable et les créateurs ont besoin de nouvelles approches pour élaborer des systèmes d'adaptation, autrement dit permettre au système de s'adapter à des événements imprévus. Une meilleure façon d'y atteindre est de se reposer sur l'autorégulation (self-organisation).

L'auto-organisation est un mécanisme qui paraît dans les systèmes naturels telle qu'une façon de s'adapter et de réagir à la dynamique de l'environnement. Ces systèmes se conforment fréquemment dans le sens où ils modifient leur organisation interne en vue de s'insérer mieux pour la nouvelle existence de l'environnement.

Les objectifs fondamentaux de l'auto organisation sont de perfectionner l'évolutivité et l'adaptation dynamique aux circonstances environnementales variables. Les entités s'adaptent continuellement aux variations de manière ordonnée, si bien que le système se réorganise toujours relativement à divers déclencheurs internes et externes du changement.

Diverses méthodes et mécanismes d'autorégulation ont été élaborés par les scientifiques. Ces mécanismes tirés d'exemples dans la nature présentent des propriétés d'autorégulation.

Le système endocrinien artificiel (AES) est un modèle de mécanisme bio inspiré mais n'a pas obtenu assez d'attention à cause de ses limites de réalisation pratique.

(Shen et al., 2002), ont suggéré la notion d'hormone de communication et de contrôle dans les robots modulaires auto-configurables.

(Ding et al., 2007), ont présenté un procédé inspiré du système neuroendocrinien immunitaire pour la composition automatisée et la conduite dynamique des services Web. Les implémentations de ces mécanismes fournissant un effet bio inspiré pourraient avoir la capacité d'application à la recherche sur l'autorégulation et les techniques conformes dans l'IoT.

La découverte des services fait référence au processus par lequel les utilisateurs ou les consommateurs de services recherchent les prestations qui correspondent à leurs exigences.

Les techniques de découverte centralisées ne suffisent pas à répondre aux exigences progressives des utilisateurs dans des environnements décentralisés, dynamiques et ouverts.

b. Problématique

La demande croissante des services Web complexes dicte l'exigence d'une exploration dynamique, automatique et adaptative des services dans un environnement évolutif, hétérogène, décentralisé et ouvert, avec arrivée et départ dynamiques de fournisseurs de services tel que l'environnement de l'IoT.

La composition des services est la découverte des services qui réagissent à la demande de l'utilisateur, puis de composer les services découverts. Donc la découverte des services est une phase considérable pour réagir à la demande des utilisateurs. Les besoins des utilisateurs pourraient être fonctionnels ou non fonctionnelles :

- ✓ Les besoins fonctionnels sont en corrélation avec aboutissement intégral sur la potentielle de l'application à améliorer.
- ✓ Les besoins non fonctionnels (QoS) concernent la qualité des services exposés tels que la durée de réponse, la disponibilité, la crédibilité et le coût.

Autre défi dans la découverte des services comporte le choix d'un service entre un assemblage de services qui fournissent la même qualité pour un travail particulier. La plupart des travaux de la littérature se basent sur des indications pratiques ou non fonctionnels (durée de réponse, disponibilité, crédibilité) des services pour procéder au choix.

Un environnement dynamique est un environnement dans lequel il y a une survenance ou une partance des services ainsi que la qualité pourrait accroître ou abaisser.

L'IoT est un environnement restreint en matière de capacité de calcul, d'emmagasinement, de consommation de puissance, de diversité et d'évolutivité. L'IoT est donc confronté à de nombreux défis.

Les approches suggérées doivent considérer les contraintes ci-dessus à propos des limites de l'IoT. A partir de là, notre problématique peut résider généralement à la question : **Comment le système s'auto-organise-t-il en cas d'échec ou de dysfonctionnement pour qu'il puisse continuer et maintenir son travail ?** D'autre part, la demande croissante de services exige une découverte adaptative et dynamique des services alors la deuxième problématique peut être résumée dans la question : **Comment sélectionner ou choisir le meilleur service parmi un ensemble de services fournissant la même QoS pour une fonctionnalité donnée ?** Il convient de noter que les travaux connexes sont représentés en détail dans la section de l'état de l'art du deuxième chapitre.

c. Objectifs et contribution

L'objectif fondamental de cette thèse est de suggérer une nouvelle approche de services basée sur le système de l'IoT qui répond aux délimitations représentées auparavant. Le travail est proposé sur la base d'une contribution constituée de deux parties complémentaires :

- ✓ Dans la première partie, nous avons proposé une approche pour améliorer l'auto-organisation inspirée du mécanisme de cellules nerveuses dans l'IoT qui aide à déterminer l'état du système s'il est défectueux ou non. Cette approche est composée de trois phases, la première est celle de transmission et réception de neurotransmetteur, la deuxième phase consiste au traitement du neurotransmetteur et la dernière phase consiste à déterminer l'état du système.
- ✓ Dans la deuxième partie, nous avons suggéré un système de découverte des services inspiré du mécanisme de cellules nerveuses basée sur l'IoT. Pour atteindre notre objectif et pour résoudre les problèmes cités précédemment, le système proposé consiste à utiliser des techniques de découverte des services dans l'IoT.

d. Plan de la thèse

Cette thèse est structurée en trois chapitres :

- **Le premier chapitre** : Ce chapitre est réservé à la présentation de l'IoT. Nous commençons par présenter le concept de l'Internet des objets et ses caractéristiques. Ensuite, nous introduisons l'architecture de l'IoT. Nous dévoilons également les différentes technologies de transmission de l'IoT et les principaux protocoles de communication. De plus, nous donnons les domaines d'applications de l'IoT. Nous discutons aussi les défis, les avantages et les inconvénients de l'IoT.
- **Le deuxième chapitre** : Ce chapitre se partage en deux parties. La première partie introduit le concept de base des services web où nous définissons d'abord leurs particularités et leurs intérêts. Puis, nous développerons l'architecture orientée service de même que les technologies essentielles de services web. Enfin, nous exposons les profits et les désavantages des services Web. La deuxième partie présente la découverte des services Web. Nous exposerons la notion de découverte des services de même que ses critères. Puis, nous révélons les types de mécanismes de découverte des services. Nous développerons régulièrement leurs approches. Cette partie cible également à étudier les techniques de la découverte des services suggérées dans la littérature en basant sur des métriques qualitatives. Une analyse comparative ainsi qu'une synthèse sont suggérées en fin de chapitre dans laquelle nous comparons ces techniques sur la base des métriques.
- **Le troisième chapitre** : Ce chapitre est pour la présentation de l'introduction des notions fondamentales de l'auto-organisation et nous exposerons ses mécanismes et ses applications. Nous présentons notre système proposé pour la découverte des services basée sur le système de l'IoT.
- **Conclusion et perspective** : Nous achevons cette thèse par une conclusion générale et nous évoquerons quelques perspectives de recherche.

Chapitre 1 : ***Internet des Objets (IdO)***

1.1 Introduction

1.2 Définition de l'Internet des Objets

1.3 Historique de l'IoT

1.4 Les caractéristiques de l'IoT

1.5 Architecture de l'IoT

1.6 Les technologies de transmission dans l'IoT

1.7 Les protocoles de communication applicatifs pour l'IoT

1.8 Les domaines d'applications de l'IoT

1.9 Les enjeux imposés par l'IoT

1.10 Les avantages et les inconvénients de l'IoT

1.11 Conclusion

Chapitre 1 : Internet des Objets (IdO)

1.1 Introduction

L'Internet des Objets ou IoT (Internet of Things) est un paradigme connu sous le nom de réseaux informatiques. L'Internet des objets veut dire que tout peut communiquer avec n'importe qui, n'importe où et n'importe quand (**Abdmeziem et al., 2016**). Les informations sont diffusées sur Internet de n'importe où, on peut donc y accéder de n'importe où et n'importe quand.

Les objets peuvent être n'importe quoi, par exemple (réfrigérateurs, thermostats, maisons, voitures, routes, appareils électroménagers, horloge, cafetière, etc.). Récemment, on s'intéresse de plus en plus aux dispositifs intelligents dotés de périphériques comme des capteurs et des actionneurs, communément appelés objets. Ils peuvent aller en ligne pour collaborer et créer de nouveaux services pour le monde réel (**Abdmeziem et al., 2016**).

Suivant le site de statistiques Statista (**T.S. Portal, 2017**), l'échelle d'appareils connectés au niveau mondial atteindra 20 milliards en 2017 à 75 milliards en 2025. De plus, des études de recherche montrent que d'ici 2030, environ 90 milliards d'appareils seront connectés en réseau et 20,5 milliards par personne (**Lin et al., 2017 ; Agiwal et al., 2016**).

IoT est le composant de nombreuses nouvelles technologies. Les technologies de l'IoT englobent particulièrement quatre fonctions principales : La vision, la communication, la vérification et les actionneurs.

Des capteurs peuvent garantir la tâche de vision, par exemple : Capteur de température et capteur d'humidité. La communication peut être réalisée au moyen de nombreux types de protocoles comme RFID, Wi-Fi, 3G, 4G, Bluetooth, ZigBee, LoRaWAN, WSN et IPv6, allant de la courte échelle à la longue échelle. La vérification est effectuée à l'aide de FPGA, d'ASIC ou de processeurs. Des exemples d'actionneurs sont : Le moteur, relais, serrure électrique, alarme, ...etc.

Nous pouvons tirer pleinement parti de la technologie de l'IoT lorsque nous surmontons tous les défis et limitations tels que la simplicité, la sécurité, la normalisation des protocoles de communication, la définition de l'architecture de l'IoT, l'identification des objets, la consommation d'énergie, etc. Un grand nombre d'appareils de l'IoT augmente les menaces, la sécurité et la confidentialité sont donc essentielles.

Il n'existe pas de protocole de communication homogénéisé et de rationalisation pour l'IdO, pour cela il est indispensable de spécifier de nouveaux protocoles de communication ou d'adapter les anciens protocoles qui répondent aux besoins de l'IoT.

L'évolutivité représente une injonction pressante dans l'Internet des objets quand on a plusieurs appareils, il est recommandé de spécifier des configurations progressives. Quant à l'IoT, la consommation minimale d'énergie est cruciale dans l'IoT, vu que la plupart des dispositifs sont dotés de batteries (**Shafique et al., 2018**).

La notion porteuse de l'Internet des Objets va pratiquement décomplicer la vie pour avoir la capacité de maîtriser le quotidien intelligemment et simplement, de plus pour un gain de temps et de se reconforter de l'accumulation des renseignements logistiques (chemin, horaire d'absorption de traitements, etc.). De ce fait, l'accès continu à divers genres de renseignements qui conduiraient à la complexité du mode de vie. En outre, une progression expressive de la qualité des services dans diverses spécialités. Il existe plusieurs types d'applications de l'IoT, comme exemple : La ville intelligente, le transport intelligent, la domotique, la santé intelligente, l'agriculture intelligente et le réseau électrique intelligent. Toutes ces applications de l'IoT permettront de contrôler nos maisons, nos affaires, notre société, nos villes et nos vies d'une manière simple, omniprésente et intelligente.

Au cours de ce chapitre, nous allons donner une idée globale concernant l'Internet des objets, en débutant par une définition claire de ce qu'est l'Internet des objets, de son apparition, de ses particularités et de sa structure. Ensuite, nous introduisons les technologies de base appliquées dans cette nouvelle vision telles que RFID, NFC, Wifi, etc., et leurs protocoles de communication, ainsi que leurs différents cadres d'application, les complications à solutionner ainsi que les défis qu'ils présentent.

Nous terminons ce chapitre avec les profits et les inconvénients de l'Internet des Objets et une conclusion. Dans le chapitre suivant, nous présenterons la découverte des services dans l'IoT.

1.2 Définition de l'Internet des Objets

L'IdO sera la prochaine génération de l'Internet. Le terme IoT a été inventé par Kevin Ashton en 1999 dans le cadre de la gestion de la chaîne de logistique (**Ashton, 2009**). Selon les idées des auteurs, nous pouvons trouver plusieurs significations de l'Internet des objets :

- Selon (**Chen, 2012**), l'Internet des Objets confère aux objets du quotidien des possibilités de repérer, d'échanger et de traiter. Dans cette nouvelle théorie, les appareils intelligents rassembleront des données, en faisant correspondre les renseignements ou le contexte mutuel, entre autre traitant les données d'une façon contributive, au moyen du Cloud Computing et des techniques analogues. Enfin, reste à savoir si l'homme devrait agir ou si la machine le fera spontanément.
- Selon (**Han et Zhang, 2013**), l'IoT peut également être défini comme un réseau qui connecte des objets et les intègre à Internet, suivant des protocoles qui garantissent leur communication et l'interaction d'informations au moyen de divers appareils.
- (**Vermesan et Friess, 2014**), étant donné que l'IoT est un paradigme qui considère la présence omniprésente dans le contexte d'une pluralité d'objets qui, grâce aux télécommunications et aux systèmes d'adressage uniques, peuvent communiquer entre eux et collaborer avec d'autres appareillages pour créer des applications /services et atteindre des objectifs communs.
- Selon (**Dorsemaine et al., 2015**), l'Internet des Objets est l'assemblage d'infrastructures qui relie des capteurs et/ou des manipulateurs aux capacités informatiques (limitées) et permettent de les gérer, d'y accéder et de transmettre les données qu'ils génèrent sur Internet sans avoir besoin d'interaction entre humains ou entre ordinateurs.
- (**Guinard et al., 2016**), comparent l'Internet des objets à une structure d'objets physiques qui peuvent être détectés, surveillés et vérifiés à travers des appareils électroniques qui peuvent communiquer à travers différents réseaux et peuvent se connecter à Internet.
- Selon (**Rahmani et al., 2018**), l'IoT est une vision préconisée en vue de connecter un nombre indéterminé d'objets avec leurs identifications uniques de façon continue et n'importe où au moyen des protocoles de communication de l'IoT. Les dispositifs de l'IoT peuvent être des téléphones portables, des vêtements, des machines et des portes.

- **(Gartner, 2019)**, l'IoT est déterminé tel un réseau d'objets physiques contenant une technologie embarquée pour communiquer, repérer ou interagir avec leurs cas internes ou leur entourage externe. L'Internet des Objets consiste en un écosystème qui contient des objets, des communications, des applications et des spécifications d'informations.
- **(Sobin, 2020)**, étant donné que l'IoT est une technologie qui facilite à de nombreux appareils de se relier et de communiquer entre eux pour fournir un meilleur service aux utilisateurs. Les appareils connectés peuvent être des smartphones, des capteurs sans fil ou des actionneurs.

1.3 Historique de l'Internet des Objets

Le but de l'IoT est de connecter des appareils entre eux via des réseaux. Chaque appareil possède un identifiant unique. Les systèmes d'authentications persistaient bien avant l'internet des objets (code barre par exemple). Effectivement, la technologie est derrière l'identification par radiofréquence (RFID) compte depuis les années 1920. Le RFID demeure l'un des systèmes les plus courants pour la connexion des objets, en qualité de premières approches de l'Internet des objets axées sur les exigences logistiques (gestion des stocks et suivi des produits). En fait, certains développements importants ont été liés à la création du paradigme de l'IoT :

En 1984, l'informaticien de l'Université de Tokyo, Ken Sakamura entrevoit l'univers équivalent à des ordinateurs seraient d'autant plus "absents", autrement dit que ces appareils deviennent imperceptibles dans notre entourage et deviennent accoutumés. Il appellera cette idée "Computers Everywhere". Ensuite, il l'appelle "l'informatique omniprésente". Le professeur Sakamura a également démontré que l'insertion de puces électroniques dans des dispositifs matériels aiderait à inventer un réseau de détecteurs capables de modéliser l'environnement.

Quatre ans après, Mark Weiser, scientifique en chef chez Xerox Parc, avait envisagé le computer aussi qu'un constituant fondamental de l'assistance de l'homme. Cette idée aide à penser à l'Internet des Objets.

En 1991, Mark Weiser a introduit, l'informatique omniprésente dans son article "le computer du 21^{ème} siècle" et a préfiguré la conception actuelle de l'Internet des Objets.

En 1998, pour la première fois la société Philips a utilisé le terme "intelligence ambiante". L'intelligence ambiante souligne la résolution de changer l'informatique en inapparent en l'incorporant dans le milieu habituel. Elle combine beaucoup de notions : L'omniprésence, cela a conduit à l'émergence de nombreux appareils répartis et interconnectés dans l'environnement, la conscience contextuelle qui convient à la compilation, au traitement d'informations sur l'utilisateur et son environnement, et l'intelligence qui évalue la capacité du système à générer des inférences à partir des informations sur l'utilisateur et son entourage.

En 1998, Kevin Ashton utilisera pour la première fois le concept de l'Internet des objets en déclarant : S'ils peuvent ajouter l'identification par radiofréquence et d'autres capteurs aux appareils du quotidien, alors ils pourront donc créer l'Internet des objets et d'envoyer les fondements d'une nouvelle époque de la cognition machine (**Charline, 2011**).

En 1999, le concept Internet des objets a été créé par Kevin Ashton pour la première fois.

Puis, en 2000, LG a exposé le premier réfrigérateur intelligent connecté à Internet. Par ailleurs, la RFID (Radio Frequency Identification), est l'une des technologies constitutives de l'Internet des Objets, a entamé à se diffuser largement en 2003 et 2004.

En outre, une action très importante a été appropriée en 2008 ; Une équipe de chercheurs appelé IPSo Alliance s'applique à améliorer l'application du protocole Internet (IP) pour les réseaux d'objets micro-intelligents (**Hakiri et al., 2014**).

1.4 Les caractéristiques de l'IoT

L'IoT montre un ensemble de particularités clés qui sont les suivantes (**Vermesan et Friess, 2014**) :

- ✓ **Inter-connectivité** : A l'aide de l'Internet des Objets, tout peut être connecté aux infrastructures de donnée et de communication. L'IoT est apte à créer des services conjoints aux dispositifs en termes d'objets, tels que la confidentialité et l'adéquation sémantique entre les objets authentiques et les objets potentiels qui se rassemblent conjointement.

Dans le système de prestation d'assistance attachée aux objets suivant les limites de ces objets, les technologies de l'univers matériel et de l'univers des données s'amélioreront.

✓ **Hétérogénéité** : La diversité de l'IoT est l'une des principales particularités. Les appareils utilisés dans l'Internet des objets sont hétérogènes car ils n'utilisent pas les mêmes bases d'équipement ni les mêmes réseaux. Ils peuvent interagir avec d'autres plateformes de services via différents réseaux. La diversité des appareils résulte non seulement des hétérogénéités de capacités et de propriétés, mais également différentes raisons particulièrement les besoins de l'application (**Bellavista et al., 2013**).

✓ **Changement dynamique** : Le statut du périphérique en revanche (veille/éveil, connecté / déconnecté) change dynamiquement, de même que le cas dans lequel ces dispositifs fonctionnent (localisation, vitesse, etc.). En outre, la multitude d'appareils pourrait être régulièrement variée dynamiquement.

✓ **Connectivité** : La connectivité permet l'accessibilité et l'adéquation du réseau d'un bout à l'autre. L'entrée est acceptée sur le réseau alors que l'adéquation offre la capacité partagée de produire et d'utiliser des données.

✓ **Très grande échelle** : Il y aura au moins dix fois plus d'appareils à gérer qui communiqueront entre eux qu'il n'y en a aujourd'hui reliés à Internet. En général, l'Internet des objets sera un réseau à très grande échelle avec des nœuds à l'échelle de milliards et voire de billions. Le rapport entre les connexions créées par les machines et celles qui sont établies par l'homme deviendront plus avantageux concernant les premières. L'agissement des données conçus et leurs explications aux attentes des applications seraient encore considérables. Ce sujet ne concerne que la sémantique et le traitement efficace des informations.

✓ **Intelligence** : Les dispositifs ou objets intelligents et l'organisation des systèmes intelligents sont les deux principaux aspects de l'IoT. Dans un réseau robuste et accessible de l'IdO, ces entités intelligentes ainsi que d'autres entités semblables aux services Web (SWS), les constituants SOA et les objets potentiels seraient interopérables et susceptibles d'intervenir d'une manière autonome relativement au contexte ou à l'environnement (**Kyriazis et Varvarigou, 2013**).

1.5 Architecture de l'Internet des Objets

Selon l'aspect architectural, on peut affirmer que le premier modèle architectural de base de l'IoT est un type d'architecture à trois couches majeures : La première celle de perception, la seconde est la couche réseau et la dernière couche, concernant l'application (**Narwane et al., 2019a**). Bien entendu que, d'autres modèles ont été suggérés dans la littérature, tels que le modèle d'architecture à cinq niveaux et le modèle d'architecture fondé sur le middleware (**Patra et Rao, 2016**). Les trois couches de modèle de base sont désignées ci-dessous et l'illustration suivante présente telle organisation.

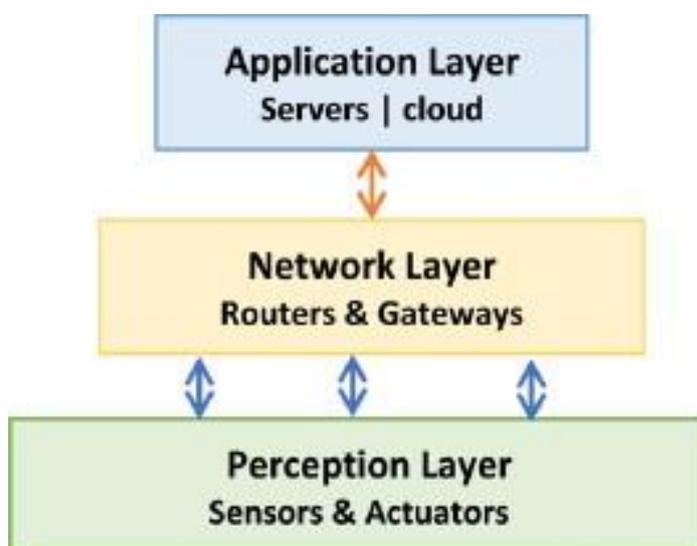


Figure 1.1 : Architecture de l'IoT (Mouha, 2021).

1.5.1 La couche perception

La couche perception semble inférieure par rapport à la hiérarchie, cette couche est composée d'un assemblage d'objets, ces dispositifs pourraient être des capteurs, des actionneurs, des appareils mobiles, ou tout autre appareil. La fonction principale de cette couche est l'identification des objets, l'agglutination d'informations, la détection, la communication et la supervision (**Birje et al., 2017**). Les données obtenues peuvent annoncer le conditionnement, le degré hygrométrique, la charge ou tout autre événement découvert par le capteur.

De nombreuses technologies pourraient être fructueuses dans la perception comme la RFID, le code-barres, le QR code, le GPS, le NFC, les capteurs et les réseaux de capteurs (**Khan et al., 2017**). Pour transmettre ces informations recueillies de manière sécurisée vers l'unité de traitement des données et ces informations sont transmises à la couche réseau.

1.5.2 La couche réseau

On l'appelle également la couche de communication. Cette couche peut être considérée comme le réseau de neurones et le cerveau de l'IoT.

D'une part, cette couche est chargée de traiter les données générées dans la couche perception et de les transmettre de manière certaine à l'unité de traitement d'informations.

Les méthodes de liaison filaire ou sans fil pourraient être utilisées pour transmettre des renseignements sur Internet (**Khan et al., 2012**).

De plus, des technologies telles que ZigBee, Wifi, Bluetooth, infrarouge, 3G, 4G et 5G pourraient être utilisées dans cette couche. Elles assurent également la communication entre l'appareillage relié et les objets intelligents ainsi que les autres hôtes du Web. Par ailleurs, les données issues de la première couche sont nécessaires de manière intensive puisque la fréquence des appareils reliés à Internet s'élève vivement. Donc, il a fallu créer des mécanismes et des équipements pour stocker et traiter ces données à grande échelle sur Internet, et à moindre coût. Ceci est bien assuré par les services Cloud garantissant une gestion adaptable pour les capacités de stockage et de traitement dans des centres d'informations considérables existant sur Internet aptes à réduire rapidement la pression d'informations créées du côté IdOs (**Mishra et al., 2018**).

1.5.3 La couche application

La couche application paraît la couche la plus élevée dans la hiérarchie. On l'appelle aussi la couche d'interface. Elle utilise les données traitées par la couche réseau et accomplit des services à grande échelle en vue de satisfaire les besoins des applications de l'IoT. De plus, cette couche détermine des formes de services intelligents et des mécanismes de conduite des données de types hétérogènes, dépendant de différentes origines (différents types d'objets) (**Abdmeziem et al., 2016**).

Elle offre aux concepteurs de l'IoT les interfaces, les bases et les moyens essentiels afin de réaliser des applications de l'IoT comme les maisons intelligentes, les transports intelligents, la santé intelligente et les villes intelligentes (Abdmeziem et al., 2016).

La structure peut aboutir à la quatrième couche dénommée couche middleware entre la couche application et les deux autres couches (Granjal et al., 2015).

Cette couche agit de même qu'une interface entre la couche physique et la couche applicative. Elle contient des fonctions très complexes qui permettent de gérer les appareils, et traite également l'assemblage, l'analyse, le filtrage de données et la vérification de la liaison aux services (Granjal et al., 2015).

La couche middleware cache pratiquement la complexité des mécanismes de prestation du réseau et aide à l'évolution des applications par les concepteurs (Granjal et al., 2015).

1.6 Les technologies de transmission dans l'IoT

L'IdO aide à l'interconnexion de divers dispositifs intelligents sur Internet. Aussi, pour sa mise en œuvre, plusieurs systèmes technologiques sont utiles.

En ce sens on donne une idée sur ces différentes technologies et ces missions particulières qu'elles joueront dans l'IdO. Le tableau (1.1) ci-dessous montre une comparaison entre les distinctes technologies de transmission sans fil dans l'IoT.



Figure 1.2 : Les technologies de communication de l'IoT (Gupta et Quamara, 2020).

1.6.1 RFID (Radio Frequency Identification)

L'une des technologies de l'IoT est l'abréviation de radiofréquence en anglais « Radio Frequency Identification ». La RFID est une technologie bien connue qui a été utilisée avec succès pour le contrôle instantané d'objets dans de nombreuses applications autant une manière d'emmagasiner et de ressaisir des informations par transmission électromagnétique, autrement dit en se servant des ondes radio. Selon la perspective physique, un système RFID (**Anwaruddin et al., 2017**) se compose de divers lecteurs et d'un ensemble d'étiquettes (aussi appelées tags, marqueurs, ou transpondeurs) avec des micro-capacités (**Anwaruddin et al., 2017**).

Les tags sont de petits appareils avec une puce contenant des données et une antenne pour les transmissions radio. Ils sont placés sur les constituants que nous voulons reconnaître ou surveiller de manière unique (**Lee et al., 2015**). Les étiquettes peuvent avoir d'autres aspects et peuvent être passives ou actives. Les étiquettes actives sont équipées d'une batterie qui leur permet d'initier la communication avec le lecteur. D'autant plus, il détient également de capteurs externes afin de contrôler la température, la pression, etc. Elles émettent des signaux systématiquement et de manière indépendante alors que les tags passifs n'ont pas de source d'assurance de fonctionnement et obtiennent de l'énergie nécessaire pour transmettre leurs identités à partir du signal de la requête envoyée par un lecteur RFID à proximité (**Lee et al., 2015**).

Une autre caractéristique non moins importante des étiquettes passives est la durée de conservation inactive, la résistance du tag est cruciale (elle demeure valide tant qu'elle reste en bon état), contrairement au tag actif où la durée de vie est localisée (elle finit par l'épuisement de la batterie). Dans le contexte de l'IoT, les objets intelligents doivent être identifiés de manière singulière. À ce moment-là, l'assimilation de la technologie RFID devient essentielle.

1.6.2 NFC (Near Field Communication)

La technologie NFC, comme son nom l'indique, est un principe de liaison entre des dispositifs très proches fréquemment à quelques centimètres l'un de l'autre. À l'inverse de la RFID, cela concerne une technologie sans fil à courte distance (elle communique jusqu'à environ 10 centimètres).

En conséquence, n'importe quelles informations peuvent être transférées en quelques secondes entre des appareils NFC au cas où ils seraient approximatifs les uns des autres. Les appareils NFC pourraient agir en deux façons, actif et passif.

En mode actif, tous les appareils de liaison devraient concevoir des champs magnétiques. En un mode passif, un de ces appareils créant un champ magnétique tandis que les autres utilisent la modulation de charge pour transmettre leurs informations. Le mode passif est très nécessaire quand des appareils à puissance limitée communiquent entre eux car il économise de l'énergie, ce qui le rend amplement appliqué dans tous les smartphones contemporains (**Curran et al., 2012 ; Coskun et al., 2013**). La technologie NFC est ajustée au prolongement futur de l'IoT, car elle n'amène aucun contrôle d'emplacement à distance pour la transmission.

1.6.3 ZigBee

C'est une technologie de transfert sans fil et un standard de type WPAN (Wireless Personal Network), qui vise à fournir et installer une transmission entre divers objets. Cette technologie est basée sur l'interconnexion de réseaux, si un objet est défaillant, d'autres objets continueront à se connecter régulièrement. Cependant, il existe des problèmes de coexistence des réseaux ZigBee et 802.11 (Wifi) dans la même bande de fréquence qui peuvent déstabiliser le bon fonctionnement des nœuds ZigBee (**Ndih et al., 2016**).

ZigBee propose des propriétés qui correspondent davantage aux exigences des réseaux de détecteurs sans fil entre ses caractéristiques, la flexibilité de la mise en réseau, l'interopérabilité, la faible consommation d'énergie et la possibilité d'ajouter/supprimer des appareils avec une flexibilité et un coût avantageux.

Du fait de ses caractères attractifs, ZigBee est devenu la technologie la plus utilisée dans la majorité des réalisations de mise en réseau de détecteurs où l'exigence de débit est minimisée pour arriver à une performance énergétique optimale, comme des applications industrielles et agricoles. De plus, il est très efficace lorsqu'il travaille avec d'autres technologies de liaison sans fil, car il intègre des techniques d'écoute et de sécurité strictes (**Mainetti et al., 2011**).

1.6.4 Bluetooth BLE (Bluetooth Low Energy)

Cette technologie de communication a été développée par Bluetooth Spécial Interest Group, en tant qu'une solution de basse puissance pour la communication à courte portée entre les applications de contrôle et de surveillance (**Gomez et al., 2012**).

Il prend également en charge le transfert rapide de paquets à des débits d'informations arrivant à 2 Mbps dans la bande ISM. Il est largement utilisé pour les communications à courte portée (10-10 m) (**Zafari et al., 2015**).

Il utilise une très faible puissance de transmission, ce qui se traduit par une couverture plus courte que les autres technologies WLAN. Par conséquent, Bluetooth n'est pas adapté à un emplacement avec une grande surface qui nécessite une grande infrastructure en mettant beaucoup de signaux Bluetooth dans l'environnement. Cependant, plusieurs entreprises se sont lancées dans des solutions de localisation basées sur le Bluetooth LowEnergy comme les startups françaises Insiteo et Polestar (**Insiteo,2019 ; Polestar,2019**). Ces entreprises doublent le nombre de balises BLE et proposent de profiter de leur portée limitée pour gagner en précision. De ce fait, le BLE est plus adapté aux objets connectés à des ressources informatiques de faible puissance qui ont besoin de synchroniser des données avec leurs applications. Par exemple, les moniteurs de fréquence cardiaque et les montres intelligentes s'appuient sur le BLE pour communiquer avec les smartphones et tablettes à proximité.

1.6.5 Z-Wave

La technologie de communication sans fil d'une faible consommation d'énergie concernant les réseaux domotiques a été largement utilisée dans les applications de contrôle à distance dans les maisons intelligentes telles que le contrôleur pour l'éclairage intelligent et d'autres capteurs dans les appareils ménagers ainsi que dans les petites entreprises.

Cette technologie vise à fournir une communication fiable de données par petits paquets avec des transmissions à faible latence et des débits de données aussi bas que 200 kbps fonctionnant sur les bandes ISM 900 MHz. De plus, le protocole Z-Wave permet de contrôler jusqu'à 232 appareils intelligents. Sa portée de transmission est de 30 mètres, son débit de transmission est de (9, 6,40, 200) kbps et sa consommation électrique est de 5 MW.

De plus, 868 MHz est sa gamme de fréquences. Grâce à ses applications, nous pouvons l'utiliser dans la maison intelligente. Il est bien adapté aux applications IdO de micro-messagerie telles que la surveillance de l'énergie, la surveillance de la lumière et la

surveillance de la santé portable avec une portée de communication point à point de 30 mètres (**Z-Wave, 2019**).

1.6.6 Wifi ou le standard 802.11

Wireless Fidelity est l'une des technologies sans fil les plus exploitées qui utilise deux bandes sans licence avec des fréquences de 2,4 GHz et 5 GHz (**Centenaro et al., 2016**). La plupart des bâtiments (centres commerciaux, bureaux, etc.) ont déjà déployé des points d'accès WiFi couvrant tous les bâtiments.

Cela signifie que les systèmes de localisation utilisant le Wifi n'auront pas besoin de construire une infrastructure supplémentaire, ce qui se traduira par un coût de configuration très faible. De plus, la plupart des produits commerciaux (smartphones, ordinateurs portables et tablettes) prennent en charge le Wifi. Cela fait du Wi-Fi, un candidat idéal pour la localisation intérieure largement étudié et publié.

1.6.7 IPv6 over Low Power Wireless Personnel Area Network (6LoWPAN)

6LoWPAN aide aux appareils intelligents de se relier à Internet au moyen du protocole IPV6 et tient compte de la nature des réseaux de l'IoT sans fil en créant un format de message d'en-tête très compact.

En outre, il supprime les complications à l'application du protocole d'adressage IPV6 dans les capacités de traitement limitées, le faible débit de données et les objets de l'IdO à puissance limitée sur la bande passante limitée des réseaux sans fil (**Sethi et Sarangi,2017 ; Culler et Chakrabarti,2009 ; Devasena, 2016**). Sa portée de transmission est de 10 à 100 mètres, sa consommation énergétique est moyenne et son coût est élevé. De plus, 2,4 GHz est sa gamme de fréquences. Il encapsule efficacement les longs en-têtes IPV6 dans de petits paquets IEEE 802.15.4, qui ne peuvent pas dépasser 128 octets. La spécification aide avec des adresses de longueur variable, une bande passante plus faible, des réseaux évolutifs et la mobilité.

La norme fournit également une compression d'en-tête principale pour réduire le fardeau du transport. Concernant ses applications, nous pouvons également l'utiliser dans la maison intelligente.

1.6.8 Long Range Wide-Area-Networks (LoRaWAN)

LoRa est une technologie sans fil émergente qui régule les indications dans la bande ISM sous-GHZ, essentiellement appliquée pour les WAN à faible puissance avec des capacités de communication à faible coût, de portabilité, de sécurité et bidirectionnelles pour les réalisations de l'IoT. Le protocole de transmission fondé sur la technologie LoRa a été unifié par la LoRA Alliance en 2015 (**LoRa Alliance, 2022**).

Il se sert des bandes ISM sans licence et peut expédier un nombre de messages indéterminé avec une charge importante maximale de 243 octets. Deux sortes de messages d'informations peuvent être transférés par la norme de transmission LoRaWAN : Les messages confirmés et non confirmés. Le message de données validé doit être affirmé par le destinataire, alors que le message de données non confirmé aucun accusé de réception n'est requis. Le premier mouvement retransmet le paquet plusieurs fois en attendant que la passerelle réponde par un accusé de réception. Par contre, le second trafic n'expédie le paquet qu'une seule fois (**Sornin et al., 2015**).

Les liaisons pourraient aboutir à une portée de 20 km en espace rural et de 5 km en zone urbaine (**Adelantado et al., 2017**). Il est adapté pour une faible consommation d'énergie et il est souhaitable pour les réseaux sans fil évolutifs reliant des milliards de dispositifs à Internet.

Il assume pratiquement des capacités comme des techniques de gestion à dépense modéré et à faible consommation d'énergie pour répondre aux conditions de l'IoT (**Al-Fuqaha et al., 2015**).

Il est souvent propagé pour des objets à puissance embarqué limitée (comme l'alimentation par batterie), puisque la transmission est de l'ordre de quelques octets, le mouvement d'informations peut être initié soit par des dispositifs (lorsque l'objet est par exemple un nœud capteur), soit par une entité éloignée souhaitant communiquer avec l'objet.

LoRa est un protocole important aussi qu'une technologie de découverte intelligente dans les infrastructures réseaux (les applications e-santé, industrielles, smart cities, etc.) (**De Poorter et al., 2017**).

Paramètres	RFID	NFC	Zig Bee	Z-Wave	Wifi	6LowPAN	LoRa	BLE
Standard	ISO 18000	ISO/CEI 14443	IEEE 802.15.4	IEEE 802.11	IEEE 802.11 a/c/b/d/g/n	IEEE 802.15.4	LoRa WAN R1.0	IEEE 802.15.1
Version récente (année)	RFC 8371 (2018) (Perkins et Devarapalli, 2018)	IPv6-over-NFC (2019) (Choi et al., 2018)	Zigbee3.0 (2019) (zigbee, 2019)	Z-Wave plus(5th Generation Z-Wave) (2015) (z-wavealliance, 2019)	IEEE 802.11ah-2016(2017)(Seok, 2018)	6Lo-BLEMesh (2019) (Gomez Montenegro et al., 2019)	LoRaWAN v1.0.3 (2018) (LoRa Alliance, 2018)	6Lo-BLEMesh (2019) (Gomez Montenegro et al., 2019)
Portée de transmission	>50 cm	10 cm	10-20 m	30 m	20-100 m	(10-100) m	< 30 Km	50 m
Taux de transmission	424 kbps	100 kbps-10 Mbps	256 kbps/20 kbps	(9.6, 40, 200) kbps	50-320 Mbps	(20, 40, 250) kbps	0,3-50 Kbps	200 kbps
Bande de fréquence	135 KHz	2.45 GHz	2.4 GHz/900 MHz	868 MHz	2.4/5.8 GHz	2.4GHz	868-900 MHz	2.4 GHz
Consommation d'énergie	Faible	15 mA	30 mA	5mW	2 µA- 8 mA	Moyenne	Up to ~50mW	15 mA
Coût	Faible	Faible	Faible	Faible	Elevé	Elevé	Elevé	Faible
Applications	E-santé, industrie, agriculture, transport et logistique ,etc	Maison intelligente, logistique, e-santé, transport ,etc	Systeme d'automatisation, industrie, collecte des données médicales, etc	Maison intelligente	Industrie , militaire , etc	Maison intelligente, agriculture, industrie, e-santé	Ville intelligente , industrie,e-santé, agriculture, etc	Service médical, agriculture industrie, ville intelligente, etc

Tableau 1.1 : Comparaison entre les technologies de transmission de l'IoT.

1.7 Les protocoles de communication applicatifs pour l'IoT

Pour arranger et de simplifier la praticabilité des applications et des services pour les appareils sans fil et à ressources limitées, l'Internet Engineering Task Force (IETF) a suggéré des classes de protocoles de communication qui ont été exploités pour accorder la transmission des informations pour l'IoT (Johnson et Ketel, 2019).

Ces protocoles désignent une unité de bases syntaxiques et sémantiques qui caractérisent la masse d'activité d'exploitation du réseau informatique durant la transmission des informations (Kambourakis et al., 2020). Le rôle de ces protocoles est de déterminer l'agissement de l'entité au cours du transfert de renseignements (Sudarshan et al., 2019).

Seulement, les protocoles Internet traditionnels (IP) ne sont pas adaptés pour garantir le bon échange d'informations.

Il n'est pas facile de composer un réseau de l'IoT, étant donné qu'il comporte plusieurs capteurs qui ne peuvent pas être additionnés au schéma d'adressage global, ce qui affecte la capacité d'acquiescer un nœud complet.

De ce fait, de nombreux protocoles de messagerie sont en voie d'évolution afin de se charger de l'utilisation de l'IoT et le rendre convivial. Ces messages sont nécessaires pour garantir la communication entre les dispositifs. CoAP et MQTT sont les protocoles de messagerie les plus largement utilisés ; néanmoins, il y a d'autres protocoles populaires, notamment HTTP, AMQP, XMPP et DDS (**Bahashwan et al., 2019**). Le tableau ci-dessous présente une analyse comparative de ces protocoles.

1.7.1 Le protocole d'application contraint (CoAP)

Développé par le groupe IETF (**Solapure et Kenchannavar, 2019**), CoAP est un protocole de transfert web développé principalement pour les équipements disposant de ressources très limitées (en termes de performance, de mémoire et de calcul) et convenant à des équipements sans fil fiables, De même les réseaux de détecteurs, dans les dispositifs Internet (**Hassan et al., 2016**). Par suite, CoAP ferait l'objet d'un obscur protocole web et devrait primordiallement supporter les liens M2M (inter-machines) à travers capteurs en liaison dans l'IdO. Il s'appuie sur une structure REST (Representational Stateless State Transfer) sans état sur le plan de la couche application conçue pour les applications de l'IoT.

REST est un procédé plus simple d'échanger des informations entre acquiesseurs et serveurs par la voie de HTTP. REST pourrait être compté comme un protocole de contact susceptible à être mis en cache basé sur une structure client-serveur sans état.

CoAP peut être réparti en deux sous-couches, c'est-à-dire : Une sous-couche de messagerie et une sous-couche de demande /réponse. La sous-couche de messagerie détecte la redondance et fournit une information certaine sur la couche de transport UDP à l'aide d'un retour arrière exponentiel, en effet UDP ne possède pas un système de récupération d'erreur incorporé. D'autre part, la sous-couche demande/réponse traite les communications REST (**Zhao et al., 2017**).

CoAP applique quatre classes de messages : Assurable, non confirmable, réactif et acquittable. La crédibilité CoAP est obtenue grâce à une catégorie de messages confirmés et non confirmés (**Al-Fuqaha et al., 2015**).

Quatre façons de réponse sont pratiquement utilisées. Le mode de réponse distante est utilisé quand le serveur doit attendre un certain moment avant de répondre au client.

Dans la modalité de réponse assurable de CoAP, l'acquéreur adresse des informations sans attendre une communication ACK, alors que les identifiants de message sont exploités afin de localiser les erreurs. Le serveur répond par un message REST au moment où des messages sont perdus ou des problèmes de connexion surviennent.

CoAP applique des procédés de type HTTP comme GET, PUT, POST et DELETE en vue d'effectuer des actes d'invention, de reprise, de réactualisation et d'annulation. Par exemple, la méthode GET peut être appliquée par le serveur pour s'informer sur la pression du client en utilisant le mode de réponse superposé. Le client renvoie la température si elle existe ; sans quoi, il répond avec un code d'état pour signaler que les données demandées sont perdues. Toutefois, CoAP change quelques fonctionnalités de HTTP de manière à répondre aux besoins de l'IdO, telles que la faible consommation d'énergie et le fonctionnement de la correspondance avec perte et bruit. Il est appliqué dans les réseaux mobiles et les pratiques de réseaux sociaux et supprime l'équivoque au moyen des procédés HTTP (Al-Fuqaha et al., 2015).

1.7.2 Le protocole MQTT (Message Queuing Telemetry Transport)

Il s'agit d'un protocole d'application de messagerie web évolué par IBM en 1999 (Soni et Makwana, 2017), dont la productivité est de plus en plus approuvée dans des pratiques renommées comme la messagerie sur le réseau social Facebook. A présent, sa mise en œuvre pour des applications fondées sur la transmission M2M dans l'IoT est très exercée. Il cherche à connecter des appareils et des réseaux incorporés avec des applications et des interfaces logicielles.

MQTT utilise la structure du modèle de publication/abonnement et le protocole TCP/IP (Transmission Control Protocol/Internet Protocol) dans sa couche de transport. D'un point de vue architectural, les nœuds capteurs sont des éditeurs qui communiquent tous avec une entité centrale appelée broker. Chaque message est affiché au niveau du broker dans une partie appropriée au type de données contenues dans le message.

Les abonnés peuvent accéder à plus d'une section. Chaque fois qu'un nouveau message est posté dans l'une des parties d'intérêt, il sera instantanément transmis aux abonnés intéressés. Le processus de communication utilise un mécanisme d'acheminement (un vers un, un vers plusieurs, plusieurs vers plusieurs) (Soni et Makwana, 2017).

MQTT est un protocole de messagerie idéal pour l'IdO et il est apte à fournir un routage vers de petits appareils à faible coût, à faible consommation d'énergie et à faible mémoire dans des réseaux impuissants à faible bande passante. Plusieurs applications utilisent MQTT telles que le domaine sanitaire, la supervision, l'industrie, etc (Soni et Makwana, 2017).

1.7.3 Le protocole AMQP (Advanced Message Queuing Protocol)

AMQP est un protocole de couche application et une norme de l'IoT axée sur les contextes dirigés message. AMQP est fréquemment exploité dans les cadres d'entreprise et se concentre sur l'interopérabilité (Foster, 2015). Il exige d'un protocole de transfert efficace comme TCP pour transmettre des messages (Dizdarevic et al., 2019).

La communication est conduite par deux constituants principaux : Les conversations et les processions d'attente de messages. Les échanges sont appliqués afin d'expédier les messages vers les files d'attente convenables.

Le routage entre les échanges et les processions d'attente de messages est fondé sur des principes et des conditions déterminées. Les informations pourraient être emmagasinées dans des files d'attente de messages, puis diffusées aux destinataires.

En plus de ce genre de relation point à point, AMQP utilise un modèle de transmission publication/abonnement (Salman et Jain, 2019). AMQP détermine une couche de message supérieur par rapport à sa couche de transfert. Les aptitudes de messagerie sont conduites au niveau de cette couche. L'AMQP définit deux genres de communications : Les messages découverts délivrés par le destinataire et les messages glosés apparents sur le destinataire.

1.7.4 Protocole de messagerie et de présence extensible (XMPP)

La communauté open source Jabber a développé XMPP pour se charger d'un protocole de paquet ouvert, protégé, sans spam et délocalisé.

XMPP traite la liaison à faible latence et la diffusion de petits messages, ce qui le rend compatible à plusieurs services comme les appels vidéos, les appels vocaux, la messagerie immédiate, les chats, les jeux et les applications de l'IoT.

Il facilite pratiquement aux usagers de se contacter entre eux en expédiant des messages immédiats sur Internet, bien que soit le système d'exploitation disposé (**Chen et Kunz, 2016**).

Il favorise régulièrement la transmission entre de diverses applications grâce à sa facilité et son extensibilité. Néanmoins, il consomme de la bande passante réseau, demande des aptitudes CPU considérables, ne favorise qu'un simple transfert de type de données et n'a aucune garantie de la qualité de service (QoS) (**Saint-Andre et al., 2009 ; Yassein et Shatnawi, 2016**).

XMPP tolère aux applications de messagerie immédiate de garantir l'identification, la vérification d'accès, la proportion du secret, le cryptage du premier au dernier, ainsi que l'adéquation avec d'autres protocoles. Les nombreux services de XMPP en font le protocole privilégié pour la majorité des protocoles de messagerie qui sont liés à l'IoT.

Il fonctionne sur une diversité de plates-formes en ligne de façon déconcentrée. XMPP est protégé et permet d'apporter de nouvelles applications en supplément des protocoles de base.

Les avantages essentiels de XMPP sont qu'il s'agit d'un protocole assuré et qu'il permet d'ajouter de nouvelles adaptations d'autant plus des protocoles de base (**Joe et Ramakrishnan, 2016**).

1.7.5 Service de distribution de données (DDS)

Il s'agit d'un protocole d'abonnement à la publication pour les communications M2M en temps réel évolué par Object Management Group (OMG) (**OMG, 2020**). Il se base sur une communication déconcentrée peer-to-peer (P2P), via un bus de données pour favoriser le transfert d'informations asynchrone, dont en réalité une résolution fondamentale pour les applications de l'IoT.

Inversement à d'autres protocoles d'application de publication-abonnement tels que MQTT ou AMQP, DDS est basé sur une configuration middleware (serveur) et se sert de la multidiffusion pour obtenir une excellente qualité de service (QoS) et une crédibilité à ses applications. La configuration middleware de publication et d'abonnement fait face aux difficultés en temps réel des transmissions de l'IdO et M2M.

La structure DDS détermine deux couches : Couche de parution axée sur les informations (DCPS) et Couche de rétablissement locale des données (DLRL). DCPS est responsable de donner l'information aux abonnés. D'autre part, DLRL est une couche facultative qui sert d'interface aux fonctions DCPS. Il aide au partage d'informations partagées entre appareillages distribués (**Salman et Jain, 2017 ; Data Distribution Service, 2015**).

Cinq entités coopèrent au débit d'informations dans la couche DCPS : (1) l'éditeur (Publisher) qui publie les renseignements ; (2) DataWriter pratiqué par l'application pour l'interaction avec l'éditeur sur les transformations de portées et d'informations particulières d'un modèle proposé.

L'organisation de DataWriter et de Publisher montre que l'application émettra les informations particularisées dans la situation donnée ; (3) l'Abonné qui obtient les informations publiées et les transfère à l'application ; (4) le Data Reader appliqué par l'abonné pour arriver aux données acquises ; et (5) le sujet (topic) identifié par le type de données et le nom.

Les sujets connectent les DataWriters aux Data Readers. Le transfert de données est accordé dans le domaine DDS qui est un environnement potentiel pour les applications de publication et d'abonnement branchées.

De nombreuses études ont été menées comparant les performances des deux protocoles de communication. Les résultats des travaux effectués dans (**Thota et Kim, 2016 ; Thangavel et al., 2014**), indiquent que CoAP est efficace en raison de son déroulement de retransmission et de la moindre disparition de paquets. Cependant, le délai de transmission des messages est encore considérable par rapport à MQTT. Autrement dit que MQTT fournit, des messages avec un délai beaucoup plus court que CoAP. Suivant (**Al-Fuqaha et al., 2015**), chacun de ces protocoles peut bien agir dans des scénarios et des environnements distinctifs.

Chapitre 1 : Internet des Objets (IdO)

Il n'est donc pas possible de donner une seule prescription pour toutes les applications de l'IoT. Le tableau (1.2) démontre une petite comparaison des protocoles d'application de l'IoT ordinaires.

Protocoles	CoAP	MQTT	AMQP	XMPP	DDS
Standard	IETF, Eclipse Foundation	OASIS, Eclipse Foundation	OSIS, ISO et IEC	IETF RFC RFC 4622, RFC 4854, RFC 4979, RFC 6122	OMG (Object Management Group)
Dernière version/année	RFC 8323 (2018) (Bormann et al., 2018)	MQTT version 5.0 (2018) (MQTT v5.0 now an official OASIS standard, 2019)	AMQP v 2.5.0 (2019) (Changes, 2019)	XMPP v 1.0.1 XEP-0128 (2019) (XMPP, 2019)	DDS v.1.4 (2020) (OMG, 2020)
Protocole de transport	UDP	TCP	TCP	TCP	UDP
Architecture	Requête/réponse	publication/abonnement	publication/abonnement	requête/réponse publication/abonnement	publication/abonnement
QoS supporté	Oui	Oui	Oui	Non	Oui
RESTful supporté	Oui	Non	Non	Non	Non
Protocole de sécurité	DTLS	TLS/SSL	TLS/SSL	TLS/SSL	DTLS
Format de codage	Binaire	Binaire	Binaire	Basé sur XML	Binaire
Performance	Suffisant pour un environnement et des réseaux restreints	Exigences de faible puissance	Efficace dans un environnement sans restriction de bande passante réseau, de puissance, de latence et de capacités de traitement	Traffic overhead	Efficace dans l'application qui nécessite une latence faible et une bande passante élevée
Communication	Un-à-un et un-à-plusieurs	Plusieurs-à-plusieurs	Un-à-un et un-à-plusieurs	Plusieurs-à-plusieurs	Plusieurs-à-plusieurs
Domaines d'application	CoAP prend en charge les exigences M2M dans des environnements contraints [41], logistique et transport [42].	E-santé, réseaux sociaux [43]	Industrie, financière [46][47]	Appels vocaux, appels vidéo et téléprésence [75]	Automatisation industrielle, réseaux intelligents et applications financières [49]
Références	(Dizdarevic et al., 2019 ; Solapure et Kenchannavar, 2019 ; Naik, 2017 ; Saeed et al., 2017 ; Karagiannis et al., 2015)	(Bahashwan et Manickam, 2019; Steve, 2019; Sheeld, 2019; Saeed et al., 2017 ; Lesjak et al., 2015 ; Tamboli , 2022)	(Dizdarevic et al., 2019 ; Naik, 2017 ; Salman et Jain, 2017 ; Saeed et al., 2017 ; Karagiannis et al., 2015)	(Yassein et Shatnawi, 2016 ; XMPP , 2019)	(Dizdarevic et al., 2019 ; Saeed et al., 2017 ; DDS Security , 2018)

Tableau 1.2 : Comparaison entre les différents protocoles de l'IoT.

1.8 Les domaines d'applications de l'IoT

L'IoT tolère le développement d'un grand nombre d'applications capables d'améliorer notre mode de vie. Nous en exposerons quelques-unes : La maison intelligente, la santé, la ville intelligente, le transport, logistique intelligente et agriculture intelligente (Souri et al., 2017 ; Souri et al., 2018). Comme la montre la figure (1.3) :

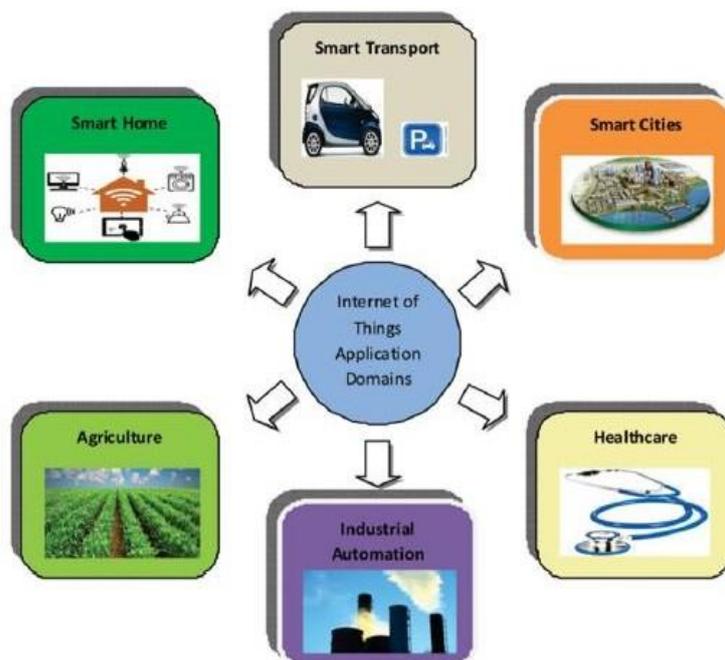


Figure 1.3 : Les domaines d'applications de l'IoT (Gupta et Quamara, 2020).

1.8.1 Domotique (maison intelligente)

Pour diminuer l'interaction de l'utilisateur dans la vérification et la surveillance des constituants de la maison et des dispositifs électroménagers, la maison intelligente est mise en place apparente (Stojkoska et al., 2017). La maison intelligente propose plusieurs fonctions à l'utilisateur, comme la vérification d'équipements tels que la climatisation, le réfrigérateur, la machine à laver, etc. de manière à ce que la porte connectée en ligne prévienne les parents du retour et leurs enfants. La télévision qui n'était qu'un poste de réception.

Lorsqu'elle est connectée à Internet, elle (TV) serait précisément un émetteur/récepteur qui donne à ses téléspectateurs le moyen d'expédier, d'obtenir des e-mails et de passer des appels téléphoniques sur Internet ou autre.

Un thermostat intelligent connecté au réseau Wi-Fi de la maison tolère de contrôler facilement la température de cette dernière depuis n'importe où, pour un meilleur confort et des économies d'énergie idéales. Le réfrigérateur intelligent connecté à Internet dispose d'un système RFID suit les éléments bruts qui y sont stockés et saisit les informations pertinentes à leur sujet (telles que la durée de conservation et la date de péremption) **(Stojkoska et al., 2017)**.

L'utilisateur peut lui demander de loin pour s'informer de ce qu'il en reste et rapporter les produits manquants avant son retour. Successivement, le réfrigérateur pourrait être programmé pour une commande automatique des produits manquants.

Les capteurs et actionneurs dispatchés dans les maisons sont reliés à un terminal central qui peut être vérifié via une interface utilisateur installée dans un téléphone mobile, une tablette ou un ordinateur et conduit par la technologie de l'IoT **(Alaa et al., 2017)** et peut remettre nos vies plus agréables dans plusieurs façons : Le chauffage peut être adapté à nos préoccupations et au climat. L'éclairage peut varier en fonction de l'heure de la journée. Dans cette application, les capteurs jouent un rôle essentiel, contrôlant la consommation des ressources et détectent d'une façon dynamique les exigences courantes des utilisateurs **(Li et al., 2015b)**.

1.8.2 La santé (Heath Care)

Beaucoup d'applications dans le cadre médical sont gérées par l'IoT, telles que la garde des patients via des appareils intelligents, des détecteurs corporels fixés dans le corps du patient et des étiquettes intégrées qui collectent des informations liées à des paramètres médicaux, comme la température, la glycémie, le rythme cardiaque ou encore la tension artérielle, cela permet une surveillance en temps réel du patient.

Ces renseignements seront conservés et traités sur Internet (formellement sur le Cloud) et mis à disposition du médecin qui pourra s'y référer à tout moment et depuis tout appareil relié à Internet (tel que son Smartphone ou sa Tablette). Le médecin est avisé immédiatement (par l'envoi d'un email ou d'un SMS) de toute modification imprévue de l'état du patient.

Selon la gravité de la situation, le médecin réagit soit en allant voir le patient, soit en l'appelant simplement et en lui indiquant quoi faire pour revenir à la normale **(Gardašević et al., 2017 ; Sethi et Sarangi, 2017)**.

A titre d'exemple, imaginez un patient souffrant d'arythmie. Un capteur qui détecte un tel cas, lance une alerte au cardiologue qui prend en charge le patient. Le médecin peut pratiquement examiner à n'importe quel moment les comptes rendus médicaux de ses malades ou s'informer auprès des capteurs pour obtenir les valeurs en cours.

En outre, la collecte automatique et la détection d'urgence, qui visent principalement à réduire le temps de traitement en fonction des résultats collectés et à automatiser les processus médicaux. Ces applications incluent diverses solutions de suivi des patients concernant les prescriptions et l'alerte en cas d'irrégularités.

La reconnaissance et l'authentification des patients sont très fondamentales car elles visent à diminuer les incidents indésirables pour les patients, spécialement les prescriptions. Cela aide les patients à minimiser le temps et les risques car ils peuvent rester et récupérer à la maison avec une surveillance et une assistance au moment opportun, et les hôpitaux traitent plus de patients sans avoir besoin de plus de lits et de personnels (**Banouar, 2017**).

1.8.3 La ville intelligente (Smart Cities)

L'émergence des villes intelligentes est peut-être l'une des applications les plus prometteuses de l'IoT. L'expression ville intelligente est employée pour signifier l'écosystème cyber-physique émergent grâce au déploiement d'infrastructures de liaison avancées et de services évoluant au niveau de la ville. Grâce à des services avancés, il est en effet possible d'améliorer l'utilisation des infrastructures réelles de la ville (réseaux routiers, réseau électrique, etc.) et le train de vie des habitants.

Aujourd'hui, non seulement les maisons, les routes, les bâtiments, les véhicules, les entrepôts, les parkings, etc. Ils seront tous connectés à Internet et déclareront leur présence à l'aide des appareils connectés entre eux pour vérifier le mouvement routier, facilitant aux citoyens (entre autres les automobilistes) un gain de temps en leur donnant des renseignements pertinents, dans l'immédiat, sur leur position (par exemple, l'arrêt de voiture le plus proche, hôtel, restaurant, hôpital, etc.) et des renseignements généraux à propos de la ville telles que la température, l'hygrométrie et les niveaux de rayonnement.

De même, les autorités de la ville intelligente pourront facilement effectuer les tâches de dépollution, d'éclairage urbain, etc.

Les renseignements recueillis sur les environnements urbains peuvent également être utilisés pour attirer l'attention des citoyens à l'état de leur ville.

Streetline est une technologie de gestion de stationnement créée pour les villes. Des détecteurs (magnétomètres) sont incorporés aux places de parking afin de capter des renseignements nécessaires. L'application dirige les conducteurs vers les places réservées au stationnement dans l'immédiat et offre des services de positionnement et de cartographie (**Streetline, 2019**). De manière générale, on peut dire qu'une ville intelligente consiste en des nouveautés désirant à perfectionner le rendement de la qualité de vie des développements et des services urbains qui enrichissent les convenances de vie actuelles et futures concernant les aspects économiques, sociaux et environnementaux (**Zeinab et al., 2017**).

1.8.4 Transport et logistique

L'évolution des transports est l'un des constituants qui montrent l'aisance des pays. L'application de contrôle de la situation des chaussées et de mise en garde est l'une des applications les plus considérables de l'IoT ainsi que de l'Internet des objets dans le cadre des transports, ce qui permettra l'application de réseaux de détecteurs à grande dimension pour surveiller les temps de trajet en ligne, la sélection de l'itinéraire, la longueur de la file d'attente et la pollution de l'air. En outre, les routes elles-mêmes et les produits transportés sont pratiquement dotés d'étiquettes et de détecteurs RFID (**Atakul, 2015**).

Elles envoient des renseignements aux systèmes de surveillance du mouvement et aux véhicules de transport pour mieux diriger le trafic, positionner convenablement les touristes et surveiller l'état des marchandises transportées. L'IoT est capable de remplacer les renseignements sur le mouvement fournis par les réseaux de détecteurs utilisés aux croisements pour les systèmes de contrôle du trafic, et ainsi de perfectionner les algorithmes de contrôle du trafic urbain, même les systèmes de vérification variés.

En plus des renseignements collectés par le système de surveillance du trafic urbain, des informations valables et convenables sur les circonstances de circulation peuvent être fournies aux passagers.

All Traffic Solutions est une plateforme de l'IoT disponible pour régler des difficultés de transports compliquées. Elle collecte les informations de mouvement routier à l'aide de capteurs et les affiche sur des cartes.

La résolution apporte aux automobilistes des nouvelles dans l'immédiat en considérant les changements apportés aux feux de signalisation numériques, aux panneaux à messages variables ou aux panneaux de limitation de vitesse.

L'IoT donnera l'occasion de développer un système de transport plus intelligent et plus capable qui assure une meilleure sûreté, plus d'aisance et de simplicité de déplacement avec une préférence pour les économies d'énergie et de temps (**All Traffic Solutions,2022**).

1.8.5 Agriculture intelligente (Smart farming)

L'agriculture de précision est constamment nommée agriculture intelligente. Les technologies et les résultats devraient être appliqués dans le cadre agricole pour donner une solution maximale pour la collecte et l'examen des informations tout en perfectionnant le rendement (**Ojha et al., 2015 ; Ray, 2017**). Il s'agit de la gestion intelligente des récoltes, du bétail, de l'utilisation des engrais puis de l'eau, etc. (**Andrew et al., 2018**).

L'IoT permet de créer une nouvelle direction pour la recherche créative en agriculture. Un réseau de détecteurs permet de collecter des renseignements, de les traiter et d'informer l'agriculteur par voie de transmission (par exemple un SMS sur un téléphone portable) des parties de la ferme qui nécessitent une attention spécifique (**Andrew et al., 2018**). Ainsi, un système agricole intelligent tolère aux agronomes de mieux assimiler les diagrammes de développement des plantes et d'utiliser des pratiques agricoles efficaces grâce à la connaissance de l'état du sol et l'instabilité climatique. Cela développe considérablement la fertilité agricole en s'écartant des conditions de production inadéquates (**Andrew et al., 2018**). L'agriculture intelligente contribue à améliorer la consommation d'eau et à planifier les activités agricoles, économisant ainsi les ressources et conservant l'environnement en minimisant la pollution (**Andrew et al., 2018**).

1.9 Les enjeux imposés par l'IoT

En général, les systèmes de l'IoT sont complexes car ils ont un impact énorme sur tous les aspects de la vie humaine (sécurité, sûreté, santé, mobilité, efficacité énergétique, durabilité environnementale, etc.), ainsi que sur les diverses techniques utilisées pour permettre un échange d'informations autonome entre différents appareils. Quoique la grande évolution dans le cadre de la technologie des appareils intelligents et des réseaux de transmission rende possible le concept de l'IoT réalisable, de grands efforts de recherche sont encore indispensables.

L'étude des travaux de recherche informe que la majorité des questions ouvertes se posent en raison de l'augmentation du nombre d'appareils connectés, ce qui crée une demande accrue de trafic avec de nouveaux types de mouvement.

D'autres complications sont associées à l'insertion de différentes technologies, à un environnement varié (par exemple, différents appareils, types d'informations et technologies de réseau), à une demande accrue de stockage et de traitement des données et à des menaces pour la confidentialité et la sécurité. etc. Nous expliquons certains des problèmes de recherche les plus fondamentaux qui devraient être résolus pour satisfaire les besoins qui désignent l'IoT (**Sarhan et al., 2018 ; Eclipse IoT, 2019**).

✓ **L'interopérabilité** : C'est l'un des plus grands défis de la mise en œuvre de l'IoT. L'interopérabilité est en fait la coexistence de différents dispositifs, systèmes et mécanismes distincts et la possibilité d'interaction et de collaboration entre ces différents dispositifs et systèmes en toute souplesse, quels que soient les équipements et les logiciels exposés (**Colakovic et Hadzialic, 2018**). Pour cela, il existe une diversité de standards, de technologies, de régularisation des systèmes et de protocoles utilisés pour enrichir l'IoT.

Ceci afin de faciliter la coopération entre les appareils reliés, de même que la jonction avec des entités externes sur Internet, ainsi que des résolutions divergentes de différents fournisseurs, ce qui mène à une grande disparité provoquant des problèmes d'interopérabilité. Par conséquent, les concepteurs d'applications et les fabricants d'appareils de l'IoT doivent tenir compte de l'interopérabilité pour garantir la prestation de services à tous les usagers. Les développeurs de l'IoT doivent inventer des applications évolutives capables d'ajouter de nouvelles fonctionnalités de manière transparente tout en maintenant l'incorporation avec différentes technologies de transmission (**Hammoudi et al., 2018**).

✓ **La sécurité et confidentialité** : La sécurité des personnes, des transmissions, des informations, des services, des réseaux et des appareils reste un problème grave qui pourrait avoir un impact négatif sur les systèmes de l'IoT. Des milliers d'appareils restreints connectés en permanence à Internet et intégrés dans toutes sortes d'objets de notre vie quotidienne, porteront le risque d'être exposés aux menaces usuelles d'Internet. Il est même possible que de nouvelles conceptions d'attaques surgissent. Les systèmes de l'IoT sont très vulnérables aux atteintes pour plusieurs raisons (**Hammoudi et al., 2018**).

D'une part, les composants de l'IoT passent presque tout leur temps sans surveillance, causant des dommages physiques. D'autre part, la plupart des liaisons sont sans fil, ce qui rend l'espionnage pratiquement accessible. Finalement, la majorité des constituants de l'IoT ont une faible capacité en termes de puissance de calcul et de ressources, et ne peuvent donc pas mettre en œuvre des systèmes complexes accessibles à la sécurité. Par conséquent, les problèmes liés à la sécurité et à la protection d'Internet comme la confiance des contacts, la conduite de l'identité, l'intégrité des informations ainsi que l'authentification et la crédibilité des associés de communication sont les plus difficiles à assurer dans un environnement de l'IoT, par exemple, dans certains cas, il se trouve une exigence d'entrer à certains services pour réaliser une mission ou pour éviter la liaison avec d'autres objets dans l'IdO pour des raisons de sécurité préventives.

Le consentement communautaire des nouvelles technologies et services de l'IoT sera essentielle à la crédibilité des données et à la protection des renseignements privés. Bien que certains nombres de projets de sécurité et de confidentialité aient été développés, il existe toujours une demande pour un mécanisme intégré de protection de la sécurité pour l'IoT (**Maram et al., 2019 ; Tiburski et al., 2019 ; Uddin et al., 2019**). C'est pourquoi, les appareils intelligents dans l'IdO, ainsi que le transfert et l'enregistrement de leurs informations sur Internet devraient être sécurisés du fait que dans l'Internet habituel, les infrastructures d'identification sont adoptées pour garantir l'authentification et la gérance de l'identité, ce qui n'est pas toujours le cas dans le cadre de l'IoT avec des ressources restreintes (**Djamel Eddine Kouicem et al., 2018**).

✓ **La puissance et la consommation d'énergie** : L'énorme quantité de données générées par les capteurs de surveillance de l'environnement urbain affaiblit également le mouvement du réseau, l'enregistrement des informations et la consommation d'énergie (**Hammoudiet al., 2018**). Les technologies d'accumulation d'énergie doivent répondre aux besoins des systèmes de l'IoT, comme la fourniture de sources d'alimentation pour les petits dispositifs incorporés.

L'un des principaux défis technologiques aujourd'hui est d'assurer des alimentations électriques fiables pour les capteurs et les appareils de l'IoT. Un autre défi sérieux consiste à intégrer de grandes fonctions de calcul dans de petits appareils intégrés à faible alimentation, en particulier pour les applications basées sur le traitement d'images et de vidéos.

Un réseau électrique est un réseau qui a la capacité d'effectuer des opérations avec une consommation d'énergie inférieure pour que la durabilité du réseau puisse être culminante.

Cette nécessité est principalement désirable dans un réseau de l'IoT de faible puissance qui a une durabilité limitée et souvent unique. De plus, si la puissance des appareils à ressources limitées est prestement consommée, le réseau peut éprouver une perte de liaison qui peut engendrer des pannes de réseau. Par conséquent, une combinaison de techniques peut améliorer l'efficacité énergétique est indispensable. Malgré l'existence de nouvelles méthodes telles que la détection de compressive (**Gubbi et al., 2013**) et l'utilisation des procédés d'échantillonnage (**Chen et al., 2015**), mais la puissance de calcul et la consommation d'énergie demeurent un problème posé. Les petits dispositifs intelligents qui constituent les systèmes de l'IoT souffrent d'une alimentation limitée irremplaçable, ce qui aboutira finalement à une chute énergétique mondiale et à une large consommation d'énergie, de mémoire et de capacité de traitement.

✓ **L'évolutivité** : Est la capacité d'ajouter de nouveaux appareils et services au système de l'Internet des objets sans réduire les exploits des services en vigueur. Il est pressenti que le nombre d'objets intelligents qui occuperont l'Internet à l'avenir dépassera des millions, voire des milliards. Les principaux défis liés à l'évolutivité au niveau des données et des communications réseau, à l'approvisionnement et à la gestion des services, au nommage et à l'adressage des appareils rendant la réalisation difficile, ainsi qu'à la prise en charge d'un grand nombre d'appareils avec mémoire, traitement, mettent en évidence la bande passante et d'autres ressources restreintes (**Pereira et Aguiar, 2014 ; Narwane et al., 2019b**).

Suivant que la nouvelle technologie s'améliore à un niveau totalement différent, il devient impératif de rendre le dispositif plus progressif à la fois horizontalement et verticalement (**Riesen et al., 2012**). L'évolutivité horizontale peut être qualifiée comme la capacité d'élever le nombre de périphériques pouvant agir comme une unique unité logique en raccordant de nombreux périphériques ou entités logicielles. Ceci peut être réalisé en ajoutant plus de nœuds au système, par exemple en ajoutant un nouvel ordinateur aux applications logicielles distribuées (**Vashi et al., 2017**). D'autre part, l'évolutivité verticale est ce qu'on appelle la capacité d'augmenter l'aptitude d'un logiciel ou d'un matériel existant pendant que nous y complétons plus de ressources.

Des mécanismes développés doivent être évolués pour une découverte efficiente des dispositifs, mais aussi pour parvenir à l'interopérabilité. Pour aider à l'évolution ainsi que l'interopérabilité, une architecture en couches doit être utilisée (**Sarkar et al., 2014**). Concevoir des architectures de l'IoT qui prennent en charge l'évolutivité est un défi majeur pour la progression future des systèmes de l'IdO. Ces structures doivent diriger plusieurs appareils reliés au système, ce qui explique les complications d'évolutivité (**Ray, 2018**). Une éventuelle solution consiste à exploiter des plates-formes Cloud clairement évolutives avec l'aptitude d'emmagasiner une grande quantité d'informations collectées. Donc, le Cloud des objets (**Abdelwahab et al., 2016 ; Roopaei et al., 2017**) pourrait être utilisé en tant qu'une structure intégrale qui densifie le Cloud Computing.

✓ **La disponibilité** : La disponibilité de l'IoT assure que les services sont utilisables pour les usagers finaux partout et à tout moment grâce à l'utilisation de composants matériels et logiciels. La disponibilité des logiciels garantit la capacité de fournir différents services via différentes applications à tous les utilisateurs finaux qui se trouvent à différents endroits en même temps. En simplifiant la gestion de la redondance des dispositifs et des services, une grande disponibilité des services de l'IoT pourrait être acquise (**Al-Fuqaha et al., 2015**) et la disponibilité des services est donc l'un des complications majeures qui devraient être résolues pour conduire convenablement la dynamique des systèmes de l'IdO (**Al-Fuqaha et al., 2015**).

La disponibilité indique également que les pratiques de l'IoT doivent être disponibles partout et à tout moment pour chaque objet approuvé (**Al-Fuqaha et al., 2015**). Les appareils à relier devraient être modulables et intelligents pour se charger d'une connectivité claire et d'une disponibilité nécessaire. La disponibilité du réseau et son périmètre de couverture doivent accepter une application continue des services à part de la mobilité ou du changement dynamique de la topologie du réseau ou des technologies utilisées en ce moment. Tout cela exige des mécanismes d'interopérabilité, de transmission et de récupération en cas d'opérations non supervisées.

Le défi majeur, dans la conception de systèmes hautement disponibles est de résister à chaque insuffisance, lorsqu'elle se produit et de se remettre de ses effets. Des décisions éclairées doivent être prises concernant la disponibilité de chaque constituant du système (**Bhagwan et al., 2003**).

Les dispositifs de l'IoT sont sujets aux pannes, il est donc indispensable d'adapter de techniques de tolérance aux pannes et de redondance pour les dispositifs et les services (**Gubbi et al., 2013**).

Lorsque la redondance est utilisée, la disponibilité du matériel pourrait garantir la disposition de l'application. Par exemple, lorsqu'un composant est hors service, le service pourrait être assuré par un autre constituant. La difficulté qui se pose durant le fonctionnement de la redondance est la valeur créée par les composants. En outre, il existe des recherches sur l'appréciation de la disponibilité des applications de l'IoT. Ces études collaborent à augmenter la disponibilité du système de l'IdO (**Silva et al., 2013 ; Al-Fuqaha et al., 2015**).

✓ **La fiabilité** : La fiabilité montre l'aptitude d'un système à fonctionner convenablement à n'importe quel moment conformément à ses caractérisations (**Al-Fuqaha et al., 2015**). La fiabilité et la disponibilité ne sont pas autonomes. Autrement dit, la disponibilité des services et des données dans le temps peut être acquise en assurant la fiabilité. Dans les applications critiques, le réseau de liaison est un facteur essentiel et critique qui doit résister aux pannes. Cette particularité est importante pour acquérir des renseignements distribués crédibles (**Al-Fuqaha et al., 2015**).

Lorsque la liaison dans le système de l'IoT n'est pas assez intègre, divers problèmes peuvent surgir durant la collecte, du traitement et de la communication des informations dans l'immédiat. Ces problèmes de surveillance peuvent engendrer une mauvaise communication des renseignements, de longs retards et, dans quelques cas, une dégradation de données, car ces personnes pourraient se désintéresser des connexions de l'IoT et prendre une mauvaise décision pouvant conduire à des scénarios catastrophiques dans le système (**Al-Fuqaha et al., 2015**). La fiabilité pourrait être touchée au niveau de transmission des informations en diminuant le taux de perte de paquets et en minimisant la rémission des paquets (surtout dans les applications d'urgence), au niveau de la collecte des informations en diminuant la congestion du réseau et au niveau de la découverte en choisissant une prise certaine. En 2013, (**Maalel et al., 2013**) ont suggéré un protocole d'acheminement certain avec un transfert rapide d'informations sécurisées dans les applications de l'IoT.

En 2016, **(Yi et Yang, 2016)** ont proposé le protocole Hamiltonian Efficient Energy Steering (HEER). Il s'agit d'un protocole par clusters amélioré qui se concentre sur les retards et l'efficacité énergétique. C'est pourquoi, une grande fiabilité est indispensable pour garantir le développement continu des liaisons de l'IoT.

✓ **La mobilité** : La mobilité est un autre défi remarquable dans les systèmes de l'IoT, car la majorité des services devraient être exposés aux usagers mobiles.

Relier en permanence les utilisateurs aux services nécessaires durant leurs mouvements est l'une des hypothèses importantes de l'IoT. Les dispositifs de l'IoT peuvent être bougés pour obtenir des services à toute occasion, ils doivent donc modifier leur adresse IP et leurs réseaux tout en tenant compte de leur positionnement. A cet effet, les protocoles de mobilité actuels des réseaux de détecteurs, des réseaux mobiles ad hoc et des réseaux véhiculaires ad hoc ne peuvent pas gérer divers problèmes d'acheminement en conséquence des capacités de traitement et de puissance limitées de ces capteurs. Pour cela, les protocoles d'acheminement devraient être bien créés pour régler ces difficultés **(Salman et Jain, 2017)**.

Une vue cohérente et permanente de la topologie du réseau est pratiquement un facteur essentiel pour la gestion des pratiques de l'IoT. Néanmoins, la mobilité associée à tout (appareils, usager, etc.) rend cette cohérence compliquée et incapable **(Jun young, 2015)**. Comme les appareils intelligents de l'IoT sont instables et changent leurs positions physiques, cela entraîne des changements rapides dans la topologie du réseau. Ce changement altère à son tour l'efficacité d'acheminement lorsque plusieurs chemins deviennent indisponibles. L'actualisation des données d'acheminement après le mouvement d'un dispositif peut conduire à supporter des frais généraux colossaux, en particulier quand de nombreux nœuds changent en même temps de positionnement physique.

Un grand nombre d'objets intelligents connectés dans les systèmes de l'IoT est ordinairement mobile. Pour cela, des solutions adaptables et des mécanismes efficaces de gestion de la mobilité devraient être installées pour aider ces objets à accomplir efficacement leurs missions quelles que soient la cadence et la vitesse des mouvements **(Choi et al., 2016)**.

✓ **L'hétérogénéité** : Les caractéristiques et les aptitudes des dispositifs diffèrent considérablement, ce qui contribue à faire de l'IoT un écosystème riche et hétérogène également.

L'Internet des objets est constitué d'objets de différents types avec des aptitudes différentes, dépendant à des réseaux de caractère différent et disposés à plusieurs échelles : Equipements, programmes et protocoles de communication. Avec toutes ces formes d'hétérogénéités physiques et technologiques, il faudrait mettre en place des mécanismes informés aptes de les cacher et de les gérer. L'hétérogénéité des systèmes peut résulter de différences dans les protocoles et les réseaux concernés, de divergences dans la surface de stockage ou les entités matérielles, ou de divergences dans la dislocation d'entités. Au sein d'un même réseau, des postes de travail munis de capacités informatiques hétérogènes et d'un stockage remarquable peuvent coexister avec d'autres périphériques aux ressources limitées. Cette différence exige que le middleware de l'IoT ait un niveau d'abstraction élevé adéquat afin de dissimuler la diversité des modules et la complication de la communication (Billet, 2015).

L'hétérogénéité se dévoile à deux échelles : L'hétérogénéité sémantique des objets, et l'hétérogénéité technologique qui demeure un problème prioritaire à surmonter pour les aider à interagir (Ahmed Malek, 2014) :

- **L'hétérogénéité sémantique des objets et dispositifs** : Ce type d'hétérogénéité est plus difficile car toutes les entités logicielles ne sont pas disponibles lors du développement. Quelles sont les intensités à modifier au fur et à mesure de leurs disponibilités et leurs sémantiques à distinguer. Dans ce cadre, pour résoudre ce problème, nous devons fournir un mécanisme qui reconnaît la sémantique des diverses entités.
- **Hétérogénéité technologique** : Les technologies d'appareils et logicielles utilisées pour créer les appareils sont nombreuses, ce qui remet en cause la théorie de la collaboration indépendante entre dispositifs. Pour que des entités technologiquement diverses soient interopérables, l'utilisation des mécanismes de communication standards est nécessaire. Ce type d'hétérogénéité exige des middlewares partagés sur les serveurs, les postes de travail et les appareils portables.

1.10 Les avantages et les inconvénients de l'IoT

Nous avons cité les principaux avantages et inconvénients de l'IoT (Prateek Sexana, 2016 ; RF Wireless World, 2012) :

1.10.1 Avantages

- ✓ Le plus grand profit de l'IoT est la connectivité car elle aide à la communication entre les appareils, également connue sous le nom de communication M2M. L'IoT pourrait initier une communication sans intervention humaine.
- ✓ Un accès ubiquitaire à l'information pour un monde plus intelligent et un style de vie avancé et significatif.
- ✓ L'IoT pourrait collecter des renseignements au moyen de détecteurs et prendre la meilleure décision.
- ✓ **Automatisation et contrôle** : Sans appui de l'homme, les machines automatisent et vérifient une immense quantité de renseignements permettant une production plus rapide et dans l'immédiat.
- ✓ Améliorer la qualité de service et la télésurveillance dans divers cadres applicatifs à savoir industriel, médical, etc.
- ✓ L'IoT permet de fournir des renseignements corrects et instantanés dans un délai plus court et avec une consommation d'énergie modérée.
- ✓ La possibilité de tirer avantage des ressources colossales d'Internet pour emmagasiner et traiter les informations épuisées depuis l'IoT.
- ✓ Gagner du temps est un autre intérêt de l'IoT. Ainsi, les mouvements futiles sont changés par une simple exploration sur le web pour réserver des produits et contrôler l'état des objets et/ou lieux reliés.
- ✓ **Une meilleure qualité de vie** : Les applications basées sur l'IoT perfectionnent le réconfort et conduisent notre vie quotidienne, optimisant ainsi la qualité de vie.
- ✓ **La vigilance aide à économiser de l'argent et du temps** : Etant donné que l'Internet des objets se sert des détecteurs intelligents pour contrôler diverses attitudes de notre vie courante pour diverses applications qui aident à économiser de l'argent et du temps.
- ✓ Les systèmes de l'IoT sont appliqués dans la sécurité privée et pourraient être vérifiés par des smart phones.

- ✓ **Nouvelles convenances commerciales** : L'Internet des objets aide à la création de nouvelles entreprises, accroissant ainsi le développement économique et la fondation de nouvelles fonctions.
- ✓ Dans certaines applications, l'IoT nous aide même à planifier nos dépenses et de faire des économies car nous ne consommons que lorsque c'est nécessaire, que ce soit pour les acquisitions, la consommation d'énergie (indispensable à l'éclairage ou à la climatisation) ou autre.
- ✓ Améliorer les services traditionnels généraux comme le transport et les parkings.
- ✓ La surveillance et maintenance des lieux publics.
- ✓ Minimiser le temps écoulé dans les accommodements administratifs dans la ville et conserver la consommation énergétique dans la ville.
- ✓ Gagner le temps.
- ✓ Consolider la sécurité routière.
- ✓ L'organisation et l'amélioration de la qualité des compagnies aériennes.

1.10.2 Inconvénients

- ✓ La structure interne de l'IoT est dissemblable l'une de l'autre, ce qui indique parfois que l'IoT est remis avec un système très compliqué.
- ✓ A cause de la différence d'architectures de l'IoT, parfois lorsque le réseau tombe en panne, il faut du temps pour rétablir le service aux clients.
- ✓ Vu que les dispositifs de divers constructeurs seront interconnectés dans l'IoT, il n'existe à présent aucune règle internationale d'adéquation avec les matériels et le contrôle.
- ✓ Avec l'apparition de la technologie, les actions habituelles sont automatisées à l'aide de l'IoT avec moins d'aide humaine, ce qui réduit les exigences en ressources humaines. Cela provoque des problèmes de chômage dans la communauté.
- ✓ **Complexité** : Pareillement pour tous les systèmes complexes, il existe des risques probables d'échec qui sont plus nombreux. Avec l'Internet des objets, les succès peuvent exploser, et tout dysfonctionnement logiciel ou physique aura des résultats désastreux. Même une coupure de courant peut entraîner beaucoup de désagréments.

L'infrastructure est encore en cours de développement et il faudrait un peu temps pour régler ces complications.

✓ **Sécurité** : L'Internet des objets élabore un écosystème d'appareils fréquemment reliés qui communiquent sur des réseaux. Le système assigne peu de surveillance en dépit de toutes les précautions de sécurité. Ce qui rend les utilisateurs accessibles à différents types d'attaquants et des menaces de sécurité.

✓ Certains distinguent les systèmes de l'IoT complexes à concevoir, déployer et entretenir, car ils utilisent plusieurs technologies et un grand nombre de nouvelles technologies diverses.

✓ **Flexibilité** : Nombreux sont soucieux de la flexibilité d'un système de l'IoT pour s'adapter facilement à un autre système. Ils craignent de se retrouver face à de nombreux systèmes litigieux ou bloqués.

1.11 Conclusion

L'Internet des Objets en qualité de progrès de l'Internet en vigueur permet un perfectionnement expressif de notre train de vie et de la manière dont les objets intelligents de notre environnement agissent ensemble et avec leurs usagers d'une manière qui rend nos actions, nos ressources et notre état de santé, nos frais, . . . contrôlés d'une façon efficace et n'importe où.

L'Internet des Objets est également l'une des technologies émergentes responsables de l'invention de nouvelles applications dans différents domaines telles que la ville intelligente, la santé intelligente et l'agriculture intelligente. Pour approuver une prise de décision, une liaison et un échange d'informations intelligentes, l'usage de détecteurs et d'actionneurs est important. Pour cela, l'IoT appartient à l'Internet planétaire du futur, qui serait radicalement différent de l'Internet qu'on applique aujourd'hui, car il cherche à améliorer le monde ordinaire en un monde intelligent en vue de faciliter notre train de vie.

Dans ce chapitre, nous avons fourni une vue générale sur l'IoT. Au début, nous avons expliqué le concept de l'IoT avec un court historique. En plus, nous avons présenté un ensemble de ses propriétés. Ensuite, nous avons adopté les différentes couches architecturales des systèmes de l'IoT. Puis, nous avons introduit certaines technologies de l'IoT d'assise telles que RFID, NFC, ZigBee, etc. Ainsi que plusieurs protocoles de transmission les plus significatifs et populaires de l'IoT, nous avons ainsi présenté les problèmes à régler et les enjeux liés à l'IoT qui préoccupent sérieusement la communauté scientifique. À la fin de ce chapitre, nous avons présenté quelques avantages et inconvénients de l'IoT et enfin, nous avons achevé par une conclusion.

Le chapitre suivant est dédié à la découverte des services dans l'IoT. Nous présenterons les différents travaux liés à notre travail. Nous allons analyser et classier les différentes approches de la découverte de services dans l'IoT.

Chapitre 2 :

La découverte des services web

2.1 Introduction

2.2 Concepts de base sur les services web

2.3 Architecture orientée service

2.4 Les technologies clés des services web

2.5 Les avantages et inconvénients des services web

2.6 Notions de base sur les techniques des services web

2.7 Types de mécanismes de la découverte des services web

2.8 Approches de la découverte des services web

2.8.1 Approches fonctionnelles

2.8.2 Approches sémantiques

2.9 Travaux connexes sur les différentes techniques de la découverte des services web dans l'internet des objets (IdO)

2.9.1 Techniques basées sur le contexte

2.9.2 Techniques basées sur l'énergie

2.9.3 Techniques basées sur la qualité des services

2.9.4 Techniques basées sur la sémantique

2.10 Conclusion

Chapitre 2 : La découverte des services web

2.1 Introduction

Ce Chapitre sera réparti en deux parties, la première consiste à donner une idée sur les différents concepts de services web avec leurs particularités, l'intérêt des services web, l'architecture orientée service et quelques avantages et désavantages. La seconde partie montre la notion de découverte des services avec ses critères, analyse et classe également les différentes approches de la découverte des services Web dans l'IdO tout en basant sur des métriques qualitatives.

2.2 Concepts de base sur les services web

La technologie des services Web offre un grand potentiel pour dépasser les problèmes d'interopérabilité des systèmes (El Bitar, 2014). C'est un contexte prometteur pour l'intégration d'applications et la gérance des interactions entre différents collaborateurs dans un environnement distribué, hétérogène, ouvert et dynamique (El Bitar, 2014).

2.2.1 Définition de services web

Les services Web ont d'abord été introduits par IBM et Microsoft, puis partiellement rationalisés par le groupement W3C¹ (HAKIM, 2012). Un service web est un constituant logiciel reconnu d'un URI², qui contient une interface publiable. Cette dernière peut être repérée par d'autres systèmes, qui pourraient interférer avec le service Web suivant les principes énoncés dans sa description, en se servant des messages fondés sur XML³ soutenus par des protocoles Internet normalisés. Un service Web aide également à la communication et à l'échange d'informations entre des applications et des systèmes variés dans des environnements répartis. L'objectif des services Web est de garantir l'interopérabilité entre les applications qui se servent des standards Web comme XML, HTTP⁴, etc. (Boudaa, 2013).

¹World Wide Web Consortium, <http://www.w3c.org/>

² Uniform Resource Identifier

³ Extensible Markup Language

⁴ Hyper Text Transfer Protocol

Les services Web apportent une couche d'abstraction entre l'acquéreur et l'approvisionneur de services. Cette couche est autonome de la plateforme et du langage d'implémentation, grâce à une globalité de protocoles unifiés tels que SOAP⁵, WSDL⁶ et UDDI⁷ (**BELAID, 2009**). Cette définition exceptée uniquement les services web :

- Sont les constituants d'application.
- Correspondre à l'aide de protocoles standards.
- Autonomes et auto descriptifs.
- Peuvent être détectés.
- Peuvent être pratiqués par d'autres applications.
- Recours à XML.
- Extensible : Chacun peut ajouter ses propres informations, protocoles ou techniques.

Cependant, plusieurs définitions des services web ont été suggérées, nous citons quelques-unes :

✓ Définition d'IBM

Les services web sont une vague originale des applications Web. Ils demeurent des applications modulaires, indépendantes et auto-descriptives qui pourraient être publiées, repérées et appelées à partir du Web (**El Bitar, 2014**). Les prestations web exécutent des activités passant de demandes faciles aux processus métiers compliqués. Dès qu'un service Web est diffusé, d'autres applications (dont les prestations web) pourraient le détecter et l'appeler (**Ponge, 2004 ; El Bitar, 2014**).

✓ Définition de W3C

L'invention concerne un système logiciel créé pour prendre en charge l'interopérabilité interactive entre les dispositifs sur un réseau (**Hugo Hass et al., 2004**). Il a une interface représentée dans un format exploitable par la machine, spécifiquement WSDL. D'autres systèmes interagissent avec le service Web de manière détaillée dans sa description au moyen de messages SOAP, qui sont fréquemment envoyés à l'aide de http avec une sérialisation XML ainsi que d'autres normes du Web. Cette définition cite les propriétés les plus considérables d'un service Web, c'est-à-dire la description, l'identification et l'interface (**Hugo Hass et al., 2004**).

⁵ Simple Object Access Protocol

⁶ Web Service Description Language

⁷ Universal Description, Discovery and Integration

« Une entité logicielle qui fournit des potentialités métier, est autonome et indépendante de toute plate-forme, est abordable via une interface et peut être publiée, découverte, configurée et orchestrée afin de créer des applications coopératives éventuellement à haut niveau » (Contes, 2011).

Compte tenu de ce qui précède, on peut approuver qu'un service Web soit un service électronique qui offre de nombreuses fonctionnalités partant du simple aux compliquées. Les prestations web sont publiés, découverts et appelés via le Web grâce à l'application de technologies globales développées selon les protocoles du World Wide Web (principalement Internet) qui servent d'infrastructure de communication : XML, SOAP, WSDL et UDDI. XML est appliqué pour représenter les données, SOAP afin de transmettre les renseignements, WSDL en vue de décrire les services accessibles et UDDI pour lister les expéditeurs de services et les services disponibles.

2.2.2 Caractéristiques des services web

Diverses définitions des services internet montrent les caractéristiques de base qui les aident à mieux s'intégrer dans des environnements hétérogènes, à travers ces propriétés technologiques nous désignons (Cerami, 2002 ; Abouzaid, 2010) :

- **Facilité d'application** : La pratique des normes comme XML et HTTP a amélioré la facilité d'utilisation des services Web et a incité les acteurs du marché tels que Microsoft et IBM à incorporer de nouveaux articles.
- **Interopérabilité** : L'interopérabilité est la principale propriété des services Web. En effet, quelle que soit la plateforme pratiquée (Windows, Unix, etc.) et le langage de développement utilisé, les services web se basent sur les normes XML pour faciliter l'élaboration et la coopération entre les systèmes distribués.
- **Indépendants et non connectés** : Les services Web pourraient agir isolément les uns des autres, en interagissant via des messages XML asynchrones, ce qui facilite à modérer les appartenances entre eux.
- **Découvrable** : Les services Web annoncés sont reconnus non seulement par leur URI, mais aussi par leurs interfaces et le genre de services qu'ils fournissent, dont la position et la demande sont rendues réalisables par n'importe quelle application externe.

- **Réutilisables et composables** : Les services Web sont des constituants logiciels ayant la capacité d'être réutilisables et reconfigurables pour créer de nouveaux services, de sorte que le service puisse fonctionner dans beaucoup de configurations.
- Les services Web peuvent être connectés via différentes applications et appelés à distance en utilisant des protocoles tels que (HTTP, SMTP, etc.) pour échanger des informations.
- **Conception basée sur les interfaces** : Différents services implémentent des interfaces collectives, ou un même service pourrait implémenter de nombreuses interfaces.
- **Dynamique** : Concerne le fait que les services web appartenant à la communication entre le client et le service. Si l'emplacement du service est souvent stationnaire (pour permettre sa localisation à long terme), il n'en sera pas de même pour le client, étant donné que ce dernier est constamment connecté en ligne par le fournisseur d'accès ne lui attribuant pas une adresse IP statique, par exemple.

2.2.3 Intérêt des services web

Les services internet offrent une liaison à travers les applications. Et donc, les applications qui utilisent diverses technologies peuvent expédier et obtenir des informations via des protocoles que chacun puisse les comprendre.

- ✓ Ils sont autonomes de :
 - Base (UNIX, Windows, ...)
 - Implémentation (VB, C#, Java, ..)
 - Infrastructure (.NET, J2EE, Axis...).
- ✓ Les services Web sont basés sur des protocoles et des langages du Web, principalement HTTP et XML.
- ✓ Le plan de services Web comporte tous les renseignements utiles à l'utilisation des applications présentant trois rôles : Exploration, description et réalisation.

Par conséquent, les services Web sont le moyen idéal de répartir des procédés et des fonctionnalités. De plus, ils réduisent la durée d'application en permettant de puiser entièrement dans les services existants (**CHEMIDI Zoulikha, 2012**).

2.3 Architecture orientée services (AOS)

L'architecture orientée service (SOA en anglais : Service Oriented Architecture) est appelée configuration logicielle qui s'appuie sur un ensemble de constituants faciles appelés services web (El Bitar, 2014). Son but est de diviser des fonctionnalités complexes en un ensemble de fonctions de base, qui sont données par des services Web et de représenter avec détermination le modèle d'interaction entre ces prestations web. Ces fonctions de services pourraient être mises en œuvre sur des plates-formes variées dans un environnement distribué et fournissant des potentialités à d'autres entités (clients). De plus, cette décomposition vise une séparation nette des fonctions qui devraient favoriser la réutilisation de ces services pour construire ou améliorer de nouvelles applications (Baouab, 2013 ; El Bitar, 2014).

L'activité des services web s'assemble autour de trois acteurs principaux : Les prestataires de services, les répertoires et les demandeurs de services (clients) auxquels on additionne des attributs comme le montre la figure ci-dessous (Serrai, 2020).

Le fournisseur de service

Il est propriétaire du service web, son rôle est de publier le service web en utilisant des formats standardisés (XML, WSDL, etc.) et il est également une entité logicielle qui pourrait être adressée en réseau qui crée un ensemble de fonctions en tant que service. Ces fonctionnalités sont représentées dans une description nommée particularisation de service.

Cette dernière contient toutes les informations utiles à l'usage du service. Les renseignements pourraient également porter sur des caractéristiques non fonctionnelles du service (c'est-à-dire celles relatives à la qualité du service). Le fournisseur de services admet et effectue les requêtes du client et annonce la particularisation de service dans la liste des services afin que les usagers de services puissent s'apercevoir et arriver au service.

Le demandeur de service

Également appelé usager de service ou consommateur de service, il représente l'application cliente qui appelle le service. C'est l'entité qui entreprend l'emplacement du service dans le répertoire, interagit avec le service via un protocole et effectue la fonctionnalité offerte par le service. Le client du service consulte le registre de services pour les services disponibles qui conviennent à ses besoins. La découverte du service se fait grâce à la description du service disponible dans le répertoire.

L'utilisateur du service doit comprendre chaque service en ce qui concerne les caractéristiques fonctionnelles et non fonctionnelles dans le but de conquérir au résultat convenable.

Après avoir choisi le service qu'il souhaite utiliser, le consommateur du service peut, dans quelques cas, négocier avec le prestataire les conditions dans lesquelles il peut utiliser ce service. A l'issue de la négociation, un contrat de service est conclu entre l'utilisateur et le fournisseur. La plupart du temps, ce contrat de service contracte les termes d'application du service par l'usager sans couverture complète de résultat. Au moyen des renseignements fournis dans la description du service, l'utilisateur du service pourrait créer le lien et appeler les fonctionnalités du service (**Marin, 2008**).

L'annuaire de services

Nommé aussi répertoire de services ou représentant de services, il accueille et enregistre d'une part les descriptions de services publiées par les expéditeurs. D'autre part, il reçoit et réagit selon les recherches envoyées par les acquéreurs. Il s'agit donc d'un répertoire de descriptions qui donne aux fournisseurs de services les méthodes d'annoncer des descriptions de services et de référencer leurs services sur le réseau. Il facilite pratiquement aux acquéreurs de se référer aux différentes descriptions disponibles. En plus des caractérisations de service, le registre possède des références aux fournisseurs de services.

Cela permettra aux consommateurs de situer les fournisseurs de caractérisations de service qui conviennent à leurs exigences. Ainsi, l'annuaire agit comme un acteur entre les expéditeurs de services et les usagers.

Les interactions entre les principaux acteurs de l'architecture SOA (Fig. 2.1), présentent un scénario pour le mode de fonctionnement d'un service web, qui sont essentiellement (**Hamida, 2014**) :

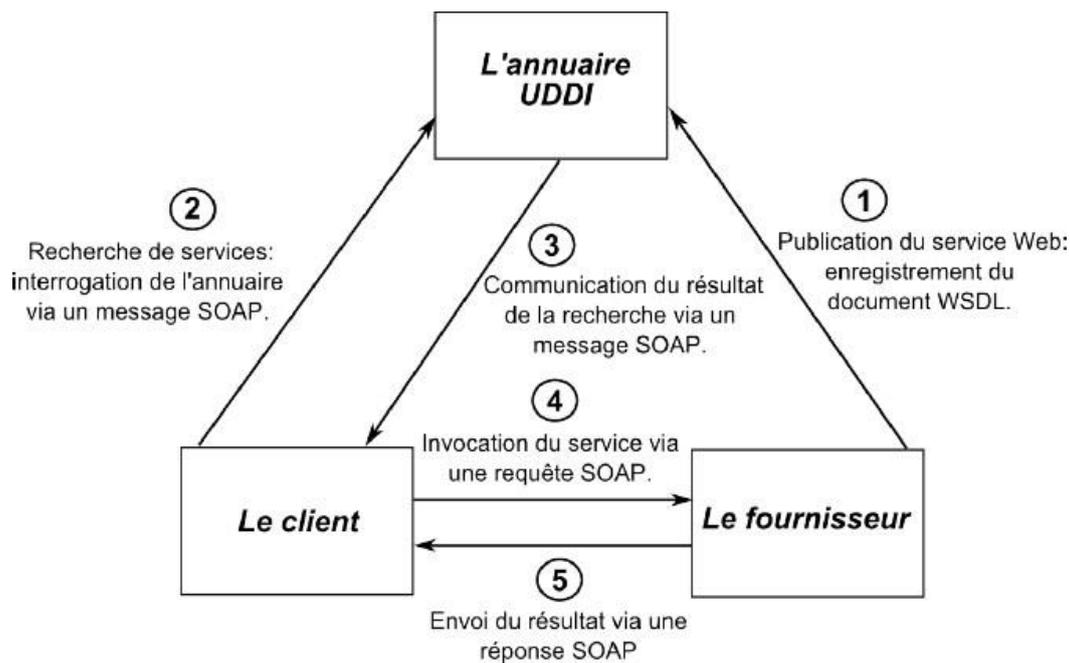


Figure 2.1 : Architecture des services Web.

✓ **Publication de service** : Facilite aux prestataires de services de publier et de mentionner les descriptions de services qu'ils fournissent afin qu'elles puissent être découvertes et invoquées par un ou beaucoup de consommateurs du service. Le service est publié par UDDI, qui est un annuaire de services basé sur XML. Cependant, avant d'être publié, le service doit être décrit et cette description est faite dans le langage WSDL. Cette interaction a lieu entre les prestataires de services et l'annuaire de services.

✓ **Recherche et découverte d'un service** : Une fois le service publié, le client pourrait consulter l'annuaire (UDDI) avec des mots clés permettant d'obtenir les URL des services demandés et un ensemble de descriptions (WSDL) contenant tous les renseignements essentiels pour appeler le service.

✓ Le recueil renvoie via un message SOAP un répertoire de services qui répondent à la demande du client. Le client n'a qu'à en choisir un dans le répertoire.

✓ **Invocation** : Après avoir référencé l'URL et la description du service détecté et appelé le fournisseur du service sélectionné, le consommateur de service appelle ce service en se référant aux renseignements fournis dans la description du service. Cette interaction entre le consommateur et le fournisseur de services a lieu durant l'accomplissement de l'application.

- ✓ Le service du prestataire de services obtient la demande, la traite, formule la réponse SOAP et l'expédie au client.

2.4 Les technologies clés des services web

L'une des caractéristiques qui a fait l'exploit de la technologie des services Web réside dans le fait qu'elle s'appuie sur des technologies standards évoluées autour des standards HTTP et XML pour permettre le développement des applications distribuées sur Internet.

Ainsi, la communication se fait à l'aide du standard SOAP qui enveloppe les messages sous format XML, la description de service est implémentée par le standard WSDL et les registres de service utilisent le standard UDDI. Nous présentons ces trois standards fondamentaux, C'est-à-dire SOAP, WSDL et UDDI. Ceux-ci sont fondés sur le langage XML.

✓ Le standard WSDL

WSDL, abréviation de Web Services Description Langage, fondé sur XML, systématisé par le W3C, établie dans l'objectif de fournir une description unifiée des services Web et d'aider les clients à savoir comment arriver au service **(El Bitar, 2014)**. C'est le résultat d'une intégration de deux langages de description NASSL (Network Accessibility Service Specification Language- IBM) et SCL (Service Conversation Language - Microsoft) **(El Bitar, 2014)**. Il permet de dissocier la description de la fonctionnalité abstraite offerte par un service de ses détails concrets, comme la façon dont et où la fonctionnalité est accessible **(WSDL, 2003)**.

WSDL aide à décrire avec précision les informations d'un service web, comme les protocoles, les ports utilisés, les tâches pouvant être exécutées, les formats des messages d'entrée et de sortie et les particularités pouvant être expédiées **(El Bitar, 2014)**. Il assure également l'adéquation et l'interopérabilité garantie même dans une implémentation différente qui peut être délicate **(Newcomer, 2002)**.

Le standard fournit une description en deux parties : La première s'agit de description abstraite et la seconde partie de la description concrète. La partie abstraite détermine une description fonctionnelle du service. La partie concrète comporte des informations sur le format de messages et l'accès du service **(WSDL, 2001)**.

Pour ce qui est abstrait, la description d'un service Web consiste à indiquer des composants d'interface de service Web tels que des types de données (Data Types), des messages (Messages) et des types de ports (Port Type) (El Bitar, 2014).

Ces parties expliquent des informations abstraites distinctes du contexte d'application. Il comporte les types de données expédiées et reçues, les opérations pouvant être utilisées et le protocole qui sera appliqué (El Bitar, 2014).

- **Les types de données** : Décrivent les types de données échangées entre le client et le fournisseur de services. La description est au format de schéma XML. Si le type de données (ou le format) n'est pas un format déterminé par XML (entier, chaîne, décimal, long, booléen, court), les concepteurs peuvent spécifier leurs propres types d'informations complexes à l'aide de ces types primitifs.
- **Message** : Conforme aux informations qui sont transférées conformément aux techniques utilisées. Chaque opération de service a deux définitions de message : L'une est une demande et l'autre est une réponse. La description du message contient le nom de constituant en tant que paramètre d'entrée ou de sortie selon le modèle et le type du message (El Bitar, 2014).
- **Type de port** : Est le constituant principal du fichier WSDL ; il précise l'interface de service. Dans un fichier WSDL, une ou diverses définitions <portTypes> peuvent être trouvées.

L'élément <portTypes> peut avoir de nombreuses opérations mais en général l'opération est associée à un portType. Pour chaque <Opération>, la spécification a la dénomination et les < messages> d'entrée et de sortie.

- **L'élément <Operation>** : Est la description de l'action affichée dans le port. Une description WSDL pourrait avoir beaucoup d'opérations.

Concrètement, un service Web est déterminé grâce aux constituants de liaison Bindings, de service et de port (El Bitar, 2014). Les deux derniers représentent des renseignements sur l'utilisation contextuelle du service Web. Il contient l'adresse de l'expéditeur mettant en place le service ainsi que le service indiqué par les adresses des fournisseurs de services.

- **Bindings** : Montre comment le type de port implémente un protocole spécifique (HTTP par exemple) et un mode d'invocation (SOAP par exemple) (El Bitar, 2014). Cette description s'effectue à travers une composition particulière d'opérations abstraites.

Pour le type de port, on pourrait avoir différents liens, en vue de choisir quel mode d'invocation ou de transport pour autres opérations (El Bitar, 2014).

- **Port** : Caractérise L'URL qui est conforme à l'implémentation de service Web par un expéditeur et caractérise une ou diverses liaisons aux protocoles de transport pour un type de port déterminé.
- **Service** : Indique l'adresse intégrale du service Web et permet au point d'entrée de l'application éloignée de sélectionner l'exposition de plusieurs classes d'opérations pour différents types d'interactions.

En bref, le document WSDL est essentiel pour déployer des services Web et décrit deux documents de base : Un pour l'interface de service web et l'autre pour sa mise en œuvre. La publication et l'exploration du service web dans l'annuaire UDDI sont assurées par ces deux genres de la documentation WSDL.

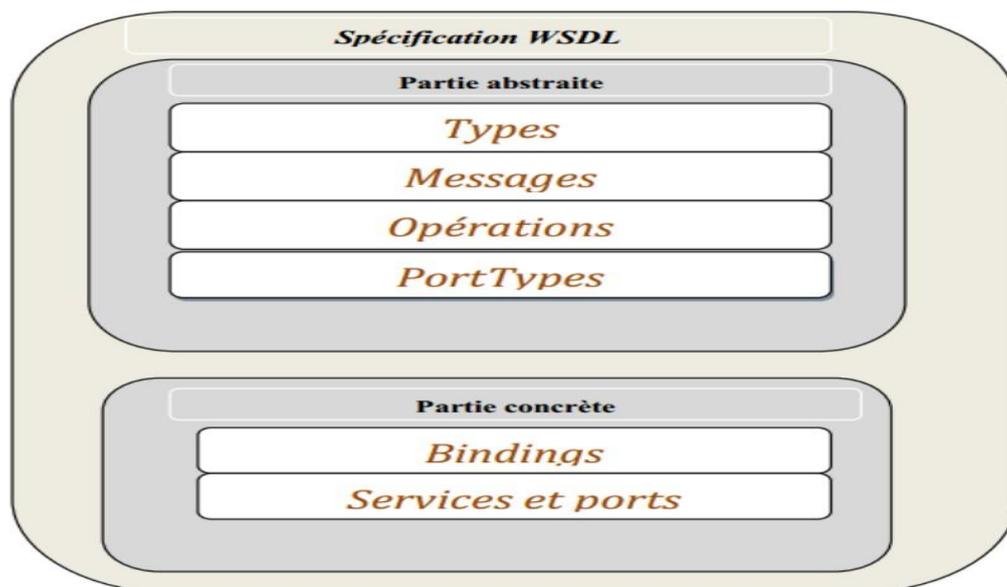


Figure 2.2 : Spécification d'un service web avec WSDL.

✓ Le standard SOAP

La communication entre les diverses entités participant aux discussions avec le service web se fait via le protocole SOAP (Simple Object Access Protocol). SOAP s'agit de protocole de communication suggéré par le W3C fondé sur XML. Les services web sont autorisés d'échanger des renseignements par SOAP dans un environnement déconcentré et distribué en transférant des paquets de données encapsulés sous forme de texte ordonné (HAKIM, 2012).

Il emploie les technologies XML pour déterminer une infrastructure de messagerie extensible qui fournit une structure de message pouvant être échangée via plusieurs protocoles sous-jacents. Le contexte est créé pour être autonome de tout modèle de programmation distinctif et d'autres sémantiques spécifiques à l'implémentation. Cela signifie que SOAP est responsable de formatage des données échangées pour que les messages soient compréhensibles à chaque extrémité (client, fournisseur, annuaire).

C'est un bon moyen de transmission à cause de sa considération sur le Web, et peut se soutenir sur n'importe quel protocole de communication (HTTP, SMTP⁸, FTP⁹ ...) pour transférer des messages, et la norme n'impose pas de choix. Cependant, SOAP ne donne d'information sur la manière d'entrer aux prestations web. C'est la mission du langage WSDL (SOAP, 2018).

Il s'agit également de la superposition de la couche application du modèle de réseau OSI. Le protocole applicatif le plus adopté pour la transmission des messages SOAP est HTTP en tant que protocole de transfert de messages. SOAP a deux objectifs : La facilité et évolutivité. Il peut être utilisé à travers toutes les méthodes de communication : Synchrones ou asynchrones, point à point ou multipoints, Intranet ou Internet. Le standard SOAP désigne trois constituants qui élaborent un message : L'enveloppe (enveloppe), l'en-tête du message (header) et le corps du message (body) (SOAP Tutorial, 2019 ; El Bitar, 2014).

- **Enveloppe SOAP** : C'est le composant nécessaire d'un message SOAP. Il comporte l'en-tête et le corps. Il comporte l'intitulé du message et la désignation du domaine, et aide à spécifier la version SOAP employée (El Bitar, 2014).
- **L'En-tête SOAP** : Élément de message SOAP optionnel caractérisé par la balise <Header>. Il comporte des renseignements sur la demande spécifiée dans le corps du message SOAP. Elle peut comporter des renseignements de sûreté ou d'acheminement, des informations contextuelles ou des informations sur l'aspect de l'utilisateur.
- **Le corps SOAP** : Le corps du message SOAP est fondamentale, distingué d'une balise <Body>. Il aide à envoyer des demandes et des réponses entre les systèmes, et il est caractérisé d'un ou de différents sous-éléments, à savoir (El Bitar, 2014) :

⁸Simple Mail Transport Protocol (protocole simple de transfert de courrier).

⁹File Transfer Protocol (protocole de transfert de fichier).

- ✓ **Le composant FAULT** : Est utilisé pour signaler l'échec d'envoi des messages SOAP. Il diffère des renseignements sur la nature de la déficience, une description de l'erreur et le chemin du serveur SOAP qui a entraîné la confusion.
- ✓ **Le composant MESSAGE** : Contient des données à transférer via le protocole SOAP.

En bref, SOAP est un protocole de communication entre des pratiques fondées particulièrement sur le protocole HTTP et sur XML, et vise à atteindre deux objectifs : Agir en tant qu'un protocole de communication sur Internet dans le but d'intégrer des applications et favorise la liaison entre les applications et les services Web (El Bitar, 2014). Il détermine une globalité de principes pour organiser les messages expédiés (El Bitar, 2014).

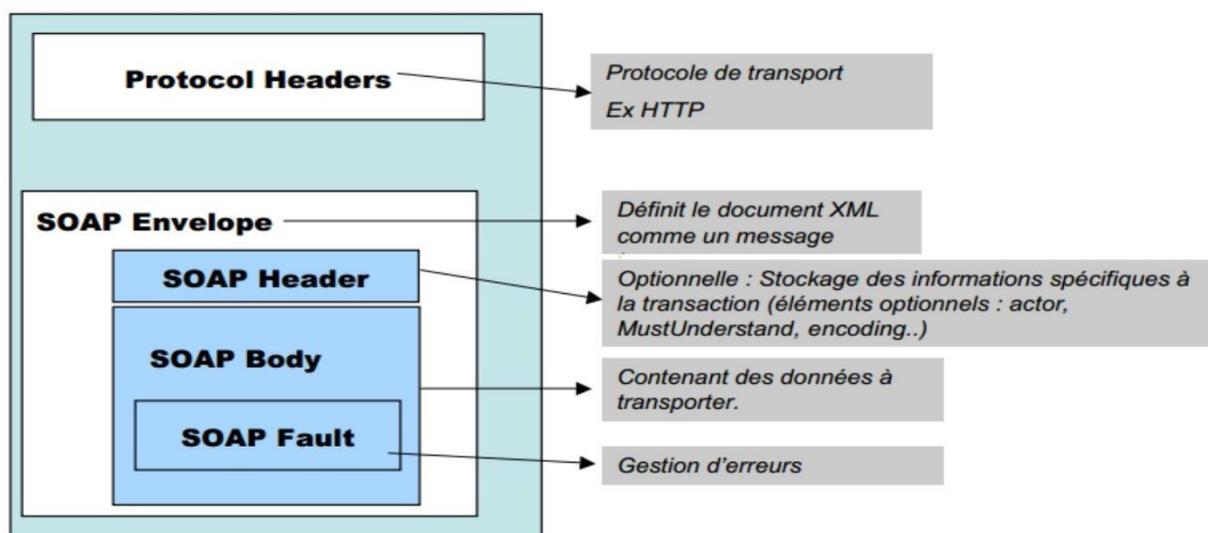


Figure 2.3 : Structure d'un message SOAP.

✓ Le standard UDDI

UDDI détermine des mécanismes en vue de répertorier les services Web. Par conséquent, Ce standard dirige les données sur la publication, l'exploration et l'usage d'un service Web. Il a fourni une plateforme interopérable sur laquelle les entreprises et les applications peuvent trouver et exploiter rapidement, aisément et dynamiquement des services Web à travers le Web. En termes simples, UDDI détermine un répertoire de services Web sous format XML qui comportent des renseignements sur les entités commerciales qui fournissent des services Web ainsi que des métadonnées sur ces services (renseignements techniques ou réglementaires).

Les établissements publient des renseignements décrivant leurs services web dans le recueil, et l'application client ayant nécessité d'un service particulier, consulte ce recueil pour rechercher des renseignements concernant le service web proposant le service demandé, en vue d'une éventuelle interdépendance ; aussi bien que UDDI est créé afin de clarifier la découverte des services web ainsi que leurs publications (**Cover Pages, 2005 ; El Bitar, 2014**).

UDDI est fondé sur le protocole SOAP, les demandes et les réactions sont des messages SOAP (**El Bitar, 2014**). Il est classé en deux parties de base : Partie publication et partie découverte. La partie publication recueille toutes les informations correspondantes aux entreprises et à leurs services.

Ces données sont fournies en passant par l'API¹⁰ d'enregistrement. La partie d'exploration et de sélection dans UDDI est basée sur la publication décrit précédemment du service et de son fournisseur. Le prochain client peut connaître grâce à UDDI : Les prestataires de services, les services fournis par un expéditeur spécifique et les outils d'invoquer un service (**HAKIM, 2012**).

Pour fournir aux clients des réponses à ces interrogations, UDDI établit tous les renseignements qu'il comporte en trois parties caractérisées en XML. Tout peut être disposé à la recherche sur UDDI. Ces parties sont ci-après (**Hamida, 2014**) :

- **Les pages blanches (White Paper)** : Ce constituant aide à connaître les données concernant l'organisation qui fournit le service car elles contiennent des renseignements sur les prestataires de services. Cette description contient toutes les renseignements envisagés comme adéquates pour déterminer l'organisation (comme le nom et l'adresse réelle). Le prochain client pour le service repère dans les pages blanches. À cet effet, les renseignements que l'expéditeur a conçus dans l'élément « **Business Entity** » durant la publication.
- ✓ **Business Entity (entité d'affaire)** : Une composition d'informations de niveau supérieur qui donne des renseignements sur l'expéditeur de services. Il contient essentiellement les noms, e-mails, numéros de téléphone, adresses physiques des dirigeants, etc.).
- **Les pages jaunes** : Contiennent des informations liées au service métier des expéditeurs. Ces renseignements sont décrits dans des entités du genre service métier « **Business Service** ».

¹⁰ API: Application Programming Interface

- ✓ **Business Service (service d'affaire)** : Montre des données descriptives sur un ensemble spécifique de services techniques. Il contient le nom du service et la description textuelle des services de même que les informations de catégorisation (**El Bitar, 2014**).
- **Les pages vertes (Green Paper)** : Elles portent des renseignements techniques se rapportant aux prestations web. Ces informations impliquent la description du service, le déroulement d'utilisation et les protocoles appliqués pour l'appeler, et sont reposées sur leur description WSDL. Elles se composent des constituants « **Binding Template** » et « **tModel** ».
- ✓ **Binding Template** : Décrit les données techniques sur un point d'entrée du service et les caractérisations d'édification. Il contient une description du service ainsi que la définition des points d'accès.
- ✓ **tModèle (index)** : Contient des renseignements qui permettent de connaître les standards respectés par le service web, le format du message, le protocole de transport et la façon de gérance de la sécurité nécessaire. Il permet également de déterminer à quelle catégorie dépend le service (la description abstraite des services suggérés). Ils incluent des renseignements de services complémentaires tels que le mode d'accès, les conditions d'utilisation, les garanties, etc.

Sommairement, UDDI est un standard pour simplifier la coopération entre les associés au cours des transactions commerciales, la base UDDI est un registre comportant des renseignements techniques et de conduites sur les établissements et les services Web qui les publient. Par conséquent, UDDI permet de publier et de découvrir des renseignements sur l'organisation et ses services Web.

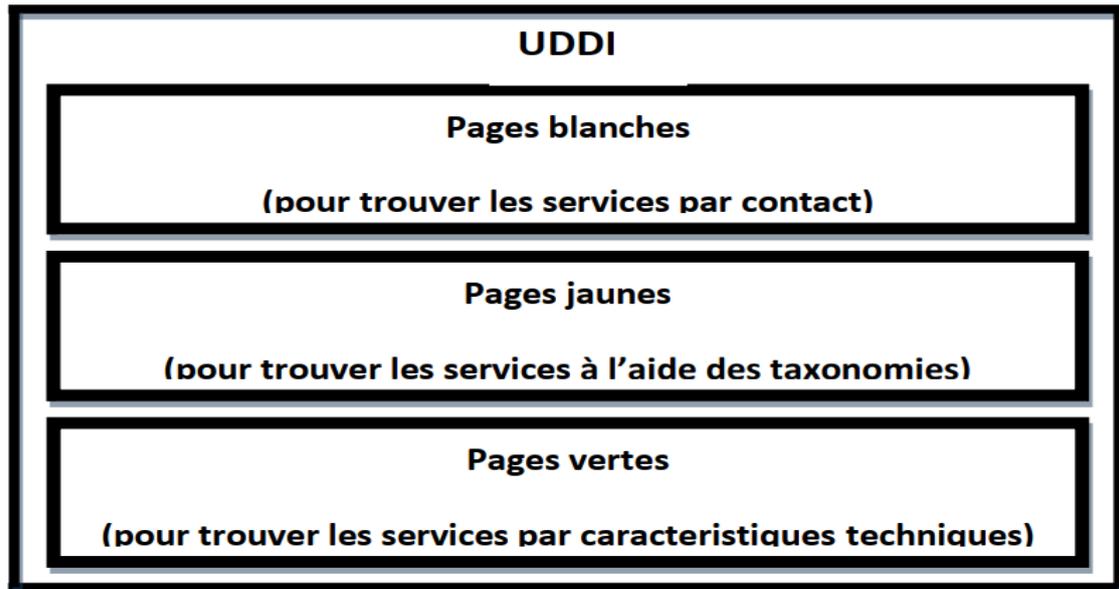


Figure 2.4 : Le contenu de l'annuaire UDDI.

2.5 Les avantages et inconvénients des services web

Les services web montrent d'innombrables avantages et inconvénients :

2.5.1 Avantages

La technologie des services Web est populaire et couramment exploitée étant donné qu'elle offre des profits importants aux utilisateurs des systèmes distribués (**Bekkouche, 2012**).

- **La disponibilité d'un nombre de plus en plus grand de services** : Le nombre de services web disponibles sur les réseaux ne cesse d'augmenter et leurs fonctionnalités sont très diversifiées, offrant aux clients de nombreuses résolutions pour développer de nouvelles applications adaptées à leurs exigences. Par ailleurs, en cas de panne de service, il peut facilement être substitué par un autre avec la même qualité de service sinon meilleure que la première (**Applications d'entreprise, 2018 ; Maamar et al., 2009**).
- **L'aptitude à avoir une connexion délicate, une autonomie de la plate-forme, une simplicité d'incorporation et de réutilisation** : La connexion délicate et l'indépendance de la plateforme indiquent que la dépendance entre les services est très insuffisante, ce qui autorise une grande aptitude de réutilisation et d'insertion de ces services isolément de l'implémentation de services en vue d'insérer de nouveaux services qui donnent de nouvelles fonctionnalités aux clients (**Michael, 2007**).

- **L'utilisation des standards XML et d'une architecture qui intègrent les avantages des modèles orientés objets et composants :** Les standards XML liés aux services Web tels que WSDL, SOAP, UDDI, HTTP, BPEL, etc. facilitent grandement l'utilisation et la compréhension des services web. L'utilisation de standards permet une intégration des services de manière flexible (BPEL), en représentant chaque service et ses fonctions sous la forme d'une description standardisée (WSDL), permettant au service le changement de données structurées comme des messages, des fichiers, etc. (SOAP/HTTP), élaborant des services afin d'être appelés et adoptés d'un efficacité (UDDI) (**Dodani, 2004**).
- **Minimiser la temporalité d'évolution pour les applications :** Auparavant, la technologie des services web, le client disposait de deux solutions pour développer son logiciel métier : La première solution lui permet de passer une commande auprès d'une société spécialisée, mais elle engendre des coûts et des délais de développement élevés ; Ladeuxième solution lui permet d'acheter un logiciel mais ce n'est pas obligatoirement bien adapté à ses exigences. Désormais avec la technologie des services web, le client choisit directement chaque fonctionnalité de son logiciel à travers l'annuaire des services, ce qui l'a aidé à respecter le délai et garantir l'argent de même que d'avoir un produit achevé parfaitement adapté à ses besoins (**Michael, 2007**).
- L'acquéreur devrait clairement exposer ses demandes et les entreprises devraient facilement publier leur service web.
- **Les services Web offrent une interface simple :** Depuis WSDL, ils ont été créés sur l'appui du langage XML, qui aide à comprendre la relation entre l'expéditeur et le client, ainsi qu'entre l'entreprise et la société.
- **Les services Web permettent l'interopérabilité entre les applications :** Ils pourraient s'informer, échanger et répartir des fonctions bien que soit leur langage de programmation qu'ils développent dans n'importe quel système d'exploitation. Les services Web aident les programmes écrits dans différents langages et sur différentes plates-formes à communiquer entre eux via certaines règles utilisant XML.
- Autoriser l'échange de données sans encombre au moyen des protocoles standards tels que HTTP en se servant du port 80 qui agit sur d'innombrables pare-feu sans avoir à modifier les règles de filtration.

- Le service Web est indépendant des langages de programmation et des systèmes d'exploitation, il est donc très flexible. Il peut communiquer virtuellement à distance sur le réseau, quels que soient le système d'exploitation et le langage de programmation utilisés (**Chappell et Jewell, 2002**).
- Permettre aux applications qui prennent en charge les divers processus d'une organisation ou d'organisations diverses de se faire partager des communications sans difficulté en dépensant modérément.
- Les prestations web disposent des normes et des protocoles ouverts.
- Les services web minimisent le délai de commercialisation des services fournis par les différentes entreprises.
- Avec les prestations web, les coûts sont restreints en raison de la normalisation de processus métier internes et externes.
- Les protocoles et les formats des renseignements sont proposés autant qu'une formulation textuelle pour simplifier la compréhension du fonctionnement des échanges.
- **Auto-descriptive et modulaire** : Les services pourraient être publiés, localisés et appelés sur le Web (**CHEMIDI Zoulikha, 2012 ; Nicolle, 2002 ; Bekkouche, 2012**).

2.5.2 Inconvénients

La technologie des services web présente de nombreux inconvénients notamment (**Bekkouche, 2012 ; CHEMIDI Zoulikha, 2012 ; Nicolle, 2002 ; El Bitar, 2014**) :

- Il n'est pas toujours facile de composer des services complexes avec d'autres services réels.
- **Fiabilité** : Il n'est pas facile de garantir la sécurité d'un service car on ne peut pas l'assurer que ses expéditeurs et les personnes qui en dépendent travaillent de manière intègre.

- **Disponibilité** : Les services Web sont en mesure de répondre à une ou plusieurs exigences des clients. Seront-ils toujours disponibles et utilisables ? Cela reste un challenge pour les services Web.
- **Confiance** : Il n'est pas facile de fonder des relations fiables entre les différents composants d'un service web, car parfois ces composants eux-mêmes ne se connaissent pas.
- **Problèmes de sécurité** : Les prises de précaution installée par les dispositifs de protection sont facilement contournables, et l'utilisation du protocole http n'a aucun avantage uniquement parce que les standards de fiabilité des services web ne sont pas assez satisfaisants. CORBA, en revanche, est une technologie mesurée et également sécurisée.
- **Complication de performances** : Les services web demeurent aussi proportionnellement délicats lors de la comparaison aux approches informatiques réparties telles que CORBA ou RMI.
- **Syntaxe et sémantique** : On met trop l'accent sur la façon dont les services sont appelés (syntaxe) et insuffisamment, sur ce que les services Web fournissent (sémantique).

2.6 Notions de base sur les techniques des services web

À l'époque actuelle, le nombre de services Web s'intensifie rapidement, avec l'avènement du web sémantique et les exigences croissantes des clients en vue de bénéficier pratiquement des services attendus du web (**El Bitar, 2014**). Par conséquent, la découverte est devenue de plus en plus fondamentale et nécessaire pour partager, échanger et réutiliser les renseignements du Web de façon fiable parmi les usagers (**Rohallah et al., 2013**).

L'objectif fondamental de la technologie des services web est de procurer l'intégration et l'interaction dynamique des systèmes hétérogènes, par ce fait, faciliter la collaboration rapide et efficace entre les différentes entités dans un environnement contributif. Pour arriver à ces finalités, les services Web doivent pratiquement fonctionner d'une manière spontanée avec un appui humain minime. Ils devraient être en mesure de découvrir d'autres services qui seraient capables d'effectuer des tâches spécifiques (**Essafi et al., 2005**). En outre, le but de SOA est de créer un environnement dynamique et hétérogène afin de découvrir et opter le meilleur service parmi eux et l'utiliser intelligemment par des machines.

Ils peuvent assimiler pratiquement le contenu décrit dans les ressources et faciliter les tâches de traitement des informations d'une manière automatique et efficace.

La découverte de services Web est un processus de recherche des services implémentant une fonctionnalité souhaitée par un utilisateur. Ce processus permet de comparer la demande de l'utilisateur aux éléments de la description du service, comme : La désignation du service, les paramètres d'entrées/sorties, ses préconditions et les propriétés de QoS.

La découverte des services se fait fréquemment de façon syntaxique en interrogeant directement des registres ou des portails de services et en exploitant la description de service. La comparaison de description syntaxique du service publié avec les mots clés de la demande (**FethAllah, 2014**).

2.6.1 Définition de la découverte des services web

En dépit de la nouveauté de la découverte des services web, il a été abordé dans plusieurs projets. Quoique que toutes les définitions donnant dans la littérature soient similaires, elles contiennent chacune des différences. Voici quelques significations de la découverte des services (**El Bitar, 2014**) :

Découvrir les services web est une étape fondamentale. Avant toute interaction entre un client de service et un fournisseur de service, le client doit trouver le service web ou le processus métier qui répond le mieux à ses attentions. La recherche s'est concentrée principalement sur les méthodes de découverte des services à une tâche unique (**Moghaddam et Davis, 2014**). Comme défini par le Consortium W3C : "La découverte des service web demeure le procédé de localisation d'une description d'un service web qui répond à certains critères fonctionnels. La découverte peut être (semi) automatisée dans le cas d'un client de type machine, ou manuellement dans le cas d'un client de type humain (**W3C, 2004**).

(**Keller et al., 2004**) définissent la découverte aussi qu'une localisation automatique des services qui répondent pratiquement à la demande de l'utilisateur.

Une autre définition de ce processus a été suggérée par (**Booth et al., 2004**) qui l'a décrit comme le processus de positionnement d'une description lisible au moyen d'un dispositif de service potentiellement anonyme auparavant qui répond à quelques critères fonctionnels.

(Toma et al., 2005), l'ont défini dans son sens global comme le processus qui prend la demande d'un utilisateur en entrée et renvoie une liste de ressources ou de services qui pourraient satisfaire l'exigence exposée.

(Fethallah et al., 2010), la découverte de service est une approche représentationnelle d'un type qui exploite une interface de service web prenant en considération les entrées et les sorties sans perdre de vue l'ontologie de domaine.

Comme pour (Chabeb, 2011), la découverte est définie comme le processus d'identification des services pouvant répondre également à une requête.

Par conséquent, il est nécessaire de déterminer le pourcentage de ressemblance entre les divers concepts sémantiques décrivant la prestation demandée (la demande) et celles des prestations fournies (les prestations publiées). Ce mécanisme est nommé : Appariement (Matching en Anglais) (El Bitar, 2014).

2.6.2 Critères de découverte des services web

Dans la littérature, les approches de découverte des services web ont été catégorisées selon nombreux critères (Mohebbi et al., 2010) :

- L'architecture (centralisation /distribution).
- L'automatisation.
- Le Matchmaking.

➤ **Le critère d'architecture (Centralisation /Distribution)** : Définit la façon dont les descriptions de service sont stockées et localisées dans le réseau. Selon cette idée, l'architecture peut être divisée en deux types : Centralisée et décentralisée. (Klusch et Kapahnke, 2008 ; Ziani, 2015 ; El Bitar, 2014).

Les systèmes centralisés s'appuient sur un répertoire unique géré par un entremetteur, tandis que les systèmes déconcentrés reposent sur la fédération de répertoires et le stockage de descriptions de services de façon distribuée, comme les réseaux poste-à-poste (P2P).

On peut mentionner à titre d'exemple (Patil et al., 2004) est une approche répartie tandis que (Clement et al., 2004) est d'origine centrale.

➤ **Le critère d'automatisation** : Porte sur le niveau de recommandation de l'utilisateur dans la découverte des services, et on distingue les méthodes manuelles et automatisées (Garofalakis et al., 2004 ; El Bitar, 2014).

La découverte manuelle est affranchie et guidée par un opérateur humain. La découverte automatique ne nécessite aucune aide de l'utilisateur durant l'exploration (El Bitar, 2014).

➤ **Le critère de Matchmaking** : Ce critère vise l'algorithme décrivant la demande du client avec la description du service. Une distinction est faite entre les approches fonctionnelles et non fonctionnelles : Les approches non fonctionnelles comparent les valeurs de QoS des services web et les classifient en fonction des besoins des utilisateurs. En revanche, les méthodes fonctionnelles analysent les descriptions d'interfaces ou le caractère de services web, elles pourraient être syntaxiques (WSDL¹¹), sémantiques (SAWSDL¹²) ou comportementales (Ziani, 2015 ; El Bitar, 2014).

2.7 Types de mécanismes de découverte des services web

Deux genres de mécanismes de découverte des services doivent être distingués : Les mécanismes de découverte actives et les mécanismes de découverte inactives (Bottaro, 2008). Dans les mécanismes de découverte active, les acquéreurs (le demandeur de service) sont obligés de rénover leurs demandes pour voir la disposition des prestataires de service. Ces demandes sont destinées à l'adresse du registre de service ou à l'adresse multidiffusion. Le demandeur reçoit par conséquent des réponses de manière synchrone de l'annuaire de services ou directement de tous les prestataires de services conforme à la demande active.

D'autre part, les mécanismes de découverte passive tolèrent aux usagers d'être informés des partances et des venues de prestataires de façon asynchrone. Ces mécanismes accordant au demandeur de service de consulter les publications automatiques aux services suivant deux modes différents : Le mode d'abonnement aux événements de publications avec l'annuaire du service et le mode de consultation passive des annonces d'adresse multidiffusion.

Au cours de la première modalité, les abonnements du demandeur de service demeurent stockés dans le répertoire de service en tant que demandes persistantes. L'annuaire de services expédie pratiquement une réponse de façon asynchrone au demandeur une fois que le service publié conforme à sa demande. Au cours de la seconde modalité, les expéditeurs de prestations annoncent systématiquement leurs prestations via le biais multicast.

¹¹Web Services Description Language

¹² Semantic Annotations for WSDL and XML Schema

Les demandeurs de service doivent alors revenir à l'adresse multidiffusion à fin d'obtenir passivement les annonces.

2.8 Approches de la découverte des services web

Les services Web ont réalisé un exploit remarquable pour la mise en place de normes ouvertes (Service Oriented Architecture : SOA) et à leur aptitude à intégrer des applications de manière plus rapide et rentable avec un potentiel d'évolutivité et de réutilisation en temps réel.

Par conséquent, le Web se transforme en un dispositif distribué dans lequel les services pourraient interagir réciproquement comme aptes de se découvrir systématiquement, de se discuter et de se configurer en services complexes.

L'exploration des services Web fait référence auprès de la capacité de situer systématiquement une prestation web convenant aux exigences spécifiques d'un usager. Diverses méthodes ont été présentées pour obtenir une découverte de service dynamique.

Les méthodes élémentaires de découverte des services suggérées dans la littérature sont des méthodes grammaticales à l'égard de l'avènement de conception nouvelle de l'internet, des méthodes sémantiques ont émergé. Ceux-ci fournissent une description sémantique des services Web qui peuvent être interprétés par une application pour assurer un haut degré d'automatisation.

La fonctionnalité d'un service pourrait ajouter de renseignements comme les entrées, les sorties, la catégorie du service, l'attitude, les indications déstructurées et possiblement les choix. De nombreuses approches avaient été suggérées pour la découverte fonctionnelle de services, et nous avons déterminé des approches syntaxiques et sémantiques.

Les approches grammaticales appliquent des méthodes d'exploration de renseignements afin de comparer des interfaces grammaticales comme le standard WSDL. Les approches sémantiques adoptent des déductions, le datamining, voire des degrés d'équivalence pour évaluer des interfaces sémantiques (**OWLS (Martin et al., 2005)**, **SAWSDL (Farrell et Lausen, 2007)**, **WSMO (Roman et al., 2005)**), (**El Bitar, 2014**).

2.8.1 Approches syntaxiques (ou basées sur des interfaces syntaxiques)

La base de cette démarche repose sur l'assimilation de mots –clés issus de la demande de l'utilisateur avec des attributs enregistrés. Cette dernière (**Algergawy et al., 2010**) applique deux algorithmes : L'appariement (le matching) appuyé sur le niveau et l'appariement de schéma (**Algergawy et al., 2010**). Le premier assimile syntaxiquement les éléments concrets du WSDL, et le second assimile les constituants abstraits du document WSDL. Avec les méthodes on cite (**El Bitar, 2014**) :

- ***Approche UDDI***

L'approche UDDI est appuyée sur l'emploi d'un annuaire de description de services web. La publication et la découverte des services web sont basées sur la comparaison des mots clés (**Newcomer, 2002 ; El Bitar, 2014**).

Durant l'exploration, l'utilisateur expédie la demande composée de mots-clés, puis cette demande est traitée, fragmentée, puis assimilée aux mots-clés du l'UDDI. Un groupe de descriptions des services Web est alors présenté au tant qu'un aboutissement d'exploration, et l'utilisateur opte pour la prestation web qui réagit bien à ses demandes.

La source de cette méthode vient du domaine de la recherche de renseignement. En dépit de sa facilité, cette approche a ses limites : Le procédé renvoie beaucoup de résultats ou, à l'inverse renvoie des résultats minimes.

Pour consolider l'efficacité de la découverte des services web basés sur des mots-clés, une méthode sortie de la spécialité de l'IR (recherche d'information) a été choisie, elle consiste à définir des descriptions des services web à l'aspect de vecteurs, tout vecteur comportant un groupe de mots résultant des vocables appliqués au cours de toutes les descriptions des services web. Les vecteurs de description sont alors ordonnés à l'aspect de matricielle (terme de description). La seconde étape réside à utiliser la technique LSI (Latent Semantic Indexing) à cette matrice. Ce procédé renvoie toute description d'un service Web ayant un rapport sémantique avec la requête de l'exploration.

- ***Approche basé sur la qualité des services***

L'approche considère la QoS en tant qu'une condition durant l'exploration d'un service Web et se compose de quatre éléments :

- ✓ L'expéditeur de services : Fournit la prestation en l'inscrivant dans le répertoire UDDI.

- ✓ Le consommateur de service : C'est lui qui découvre les services et qui les demande (El Bitar, 2014).
- ✓ Répertoire UDDI : Il s'agit du répertoire qui comporte des données sur la description du service Web et des renseignements sur les QoS associés à ce service.
- ✓ Le certificateur : Sa fonction consiste à contrôler la qualité de service d'un service web avant leur enregistrement (Addour, 2013 ; El Bitar, 2014).

• Approche AASDU

Le système nommé AASDU (Agent Approach for Service Discovery and Utilization) (Palathingal et Chandra, 2004) présente une méthode multi-agents pour découvrir les services Web (El Bitar, 2014). Il comprend une interface utilisateur graphique (Graphical User Interface GUI), d'un agent analyseur de requête (QAA) (Query Analyzer Agent) et d'un système référentiel pour les domaines d'expertises de l'agent de service (El Bitar, 2014). Ce système permet de classer les agents conformément à leur expertise pour que tout agent soit parfaitement au courant des prestations liées à son domaine d'expertise. Dans ce système, tout agent a un profil qui définit ses profils et ses compétences (El Bitar, 2014).

L'expertise d'un agent est déterminée par un vecteur de mots-clés, tout mot-clé approprié spécifie un domaine particulier. Chaque mot-clé se voit attribuer un degré qui montre la qualité d'expertise de l'agent dans ce contexte. Puis, tout agent muni d'une liste d'agents voisins désignant les comparables de l'agent et leurs domaines d'expertise. Le module de services offre trois sous-services :

- ✓ Un service qui permet aux expéditeurs de services de publier les descriptions de leurs services Web. Tout prestataire de services Web se voit désigner un agent, le service réside en un agent de tractation aidant à la sélection du service.
- ✓ Un service fourni par l'agent composition. La fonction de cet agent est de demander l'un des services créés par la phase de choix ou de demander un service identique pendant la première défaillance du service choisi.

Au cours de cette méthode, l'utilisateur insère sa requête sous l'aspect d'une chaîne de caractères à travers l'interface (GUI). La demande est en conséquence envoyée à un agent (QAA), et la mission de cet opérateur est de prélever les mots-clés appropriés de cette requête qui sont employés pour choisir des agents du système référentiel des domaines d'expertises des agents service.

Pour ce faire, l'opérant QAA utilise une diversité abordable des méthodes TFIDF (Term Frequency Inverse Document Frequency) pour la mise en relief des mots clés associés conformes, relativement aux mots clés appropriés, l'agent QAA sélectionne un ensemble d'agents experts. Les agents choisis transfèrent alors les paramètres des services qu'ils associent à l'agent composition. Ce dernier appelle un service conformément au choix de l'utilisateur. Les inconvénients de ce genre de méthodes étant considérables :

- ✓ L'équivoque présentée dans le langage naturel est le risque majeur de ces procédés, en effet les procédés syntaxiques ont un léger taux d'exactitude.
- ✓ **L'utilité d'assistance à l'utilisateur** : L'utilisateur devrait intervenir pour examiner les décisions et conduire les divergences potentielles ou équivoques s'opposant durant de l'appariement.

2.8.2 Approches sémantiques

Ces méthodes s'appuient sur des langages spécifiques d'ontologie web. Cela les aide à décrire les services Web par un moyen programmatique indépendant et compréhensible. Cette catégorie relève des OWLS et WSMO représentant des modèles sémantiques répandus (**El Bitar, 2014**). Cette classe garantit une meilleure interprétation et assure ainsi une découverte efficace en perfectionnant la valeur des aboutissements obtenus, ces techniques sont plus délicates et plus fiable que les procédés syntaxiques, et cette approche pourrait être répartie en trois catégories : L'approche algébrique, déductive et hybride (**El Bitar, 2014**). L'approche algébrique utilise souvent la théorie des graphes et fonctionne par évaluation de distance, tandis que l'approche déductive s'appuie principalement sur le raisonnement. En revanche, l'approche dite hybride combine le mécanisme de ces deux catégories (**El Bitar, 2014**).

• Approche algébrique

Cette approche a ses bases dans les mathématiques et les mécanismes de recherche d'informations, elle se base sur la vérification du niveau de ressemblance textuelle depuis des graphes structurés élaborés à cette fin, ou sur le calcul de distance (chemin) entre des concepts analogues. Ce procédé, qu'on appelle d'algébrique emploie des techniques d'appariement structurelles, numériques et syntaxiques à travers un appariement de graphes structurés et en calculant des écarts numériques pour vérifier la ressemblance syntaxique (**El Bitar, 2014**).

Afin d'utiliser la sémantique, ces procédés emploient des fréquences de mots et des sous-graphes **iMatcher1** (Schumacher et al., 2008), Agent Approach for Service Discovery and Utilisation (AASDU) (Palathingal et Chandra, 2004) et DSD-Matchmaker (Klein et al., 2005) sont des plateformes et des travaux qui choisissent cette catégorie d'approches (El Bitar, 2014).

- **Approche déductive**

Elle est basée sur le raisonnement. Les travaux qui choisissent la classe de ces méthodes appliquent des descriptions de services et des demandes définies dans des langages dérivés des logiques, tels que le raisonnement de description et le raisonnement de premier ordre. Ils appliquent régulièrement des principes raisonnables pour l'exploration de services Web et l'exploitation d'ontologies afin de protéger le côté sémantique (El Bitar, 2014). Pour calculer le niveau d'appariement, ils exploitent de nombreuses manières et visent plusieurs composants de description de service en tenant compte de leur sémantique (El Bitar, 2014).

Ils choisissent principalement trois genres d'appariements : IO-matching (inputs- outputs matching) (Srinivasan et al., 2005), (Fan et al., 2005), (Paolucci et al., 2003), PE- matching (préconditionnement et assimilation des effets) (Schumacher et al., 2008) et appariement IOPE (appropriation entrée-sortie, préconditions et effets) (Michael, 2011 ; Keller et al., 2005 ; Stollberg et al., 2007 ; Küster et König-Ries, 2008). Dans (IO- matching), les constituants d'élément correspondants sont délimités à l'entrée et à la sortie. (PE-matching) prend des conditions préalables et des impacts comme éléments d'appariement. Dans le cas de l'appariement (IOPE-matching), les notions sémantiques représentant les entrées, les sorties, les critères préalables et les résultats donnent lieu à des prestations et des demandes d'appariements (El Bitar, 2014).

- **Approche hybride**

Elle se sert de techniques déductives qui intègrent des approches de calcul d'intervalle. L'objectif est de remédier les limites de ces deux techniques en les composant. Divers travaux (Rey, 2002 ; Kiefer et al., 2007 ; Kiefer et Bernstein, 2008 ; Bertoli et al., 2004 ; Klusch et Kapahnke, 2008) choisissent cette approche, disons :

- a. **OWLS-MX** : OWLS-MX (Klusch et al., 2006) est un matchmaker sémantique hybride qui effectue un IO-matching entre des profils de services OWL-S6.

b. OWLS-iMatcher2 : OWLS-iMatcher2 (**Kiefer, 2008**) est une méthode de découverte hybride qui adopte simultanément un appariement déductif pour les notions d'E/S et un appariement algébrique, utilisé pour calculer la ressemblance textuelle pour les noms de service et signatures (**Bernstein et al., 2005**).

c. WSMO-FX : La méthode WSMO-MX (**Kaufer et Klusch, 2006**), est relativement une méthode hybride des services de matching décrits en WSML-MX. Il choisit l'appariement sémantique (**Klusch et al., 2006**) et l'appariement syntaxique et applique par des méthodes d'appariements de graphes orientés objet héritées de DSD-Matchmaker (**Klein et König-Ries, 2004**) et d'appariement intentionnel de services (**Keller et al., 2005**).

d. SAWSDL-MX : SAWSDL-MX (**Klusch et Kapahnke, 2008**) est un matchmaker inspiré de OWLS-MX (**Klusch et al., 2006**) et WSMO-MX (**Kaufer et Klusch, 2006**) permettant à explorer des services décrits en SAWSDL (**Kopecky et al., 2007**). Il adopte un appariement logique basé sur l'inférence logique et l'appariement syntaxique fondé sur les techniques de recherche d'informations.

2.9 Travaux connexes sur les différentes techniques de la découverte des services dans l'IdO

Nous fournissons un classement systématique des études sur la découverte des services dans l'IdO. En fait, une tendance compréhensible pour la découverte des services est introduite. En outre, leurs innovations, avantages, faiblesses et leurs différences sont également signalés. Les méthodes de découverte des services sélectionnées ont été divisées en quatre groupes, y compris les techniques contextuelles, les techniques fondées sur l'énergie, les techniques fondées sur la qualité de service et les techniques basées sur la sémantique, qui sont décrites et discutées selon des critères importants. Le tableau ci-dessous fournit une comparaison des techniques de découverte des services dans l'IdO. Les paramètres qualitatifs de base et les exigences pour la découverte des services dans l'IdO sont définis ci-dessous :

- **Disponibilité** : La disponibilité indique si un service est susceptible d'être disponible ou non (**Li et al., 2020**).
- **Délai** : Il peut être considéré comme un délai de calcul et un délai de communication, qui fait référence au temps nécessaire pour traiter une demande particulière (**Reddy et Babu, 2019**).

- **Consommation d'énergie** : Les périphériques de l'IdO doivent être actifs à tout moment pour obtenir des données en temps réel. De plus, ces objets sont généralement alimentés par des ressources énergétiques limitées. Les chercheurs dans ce domaine doivent donc considérer cet enjeu crucial pour le développement de leurs innovations (**Yu et al., 2019**).
- **Résistance aux pannes** : est une complication critique pour les applications de l'IdO car un défaut du réseau peut compromettre la sécurité ou la confidentialité des utilisateurs. Pour être considérées comme une méthode de résistance aux pannes, les procédés de découverte des services devraient s'en charger de la récupération et la détection des pannes(**Zhou et al., 2015**).
- Les techniques de découverte des services hétérogènes devraient fournir une méthode interopérable de traiter les services qui peuvent être différents en termes de types, de formats et de technologies (**Chen et al., 2019**).
- **Évolutivité** : La possibilité de modifier la méthode dont un service est découvert dans différentes situations. La méthode efficace de découverte de services offre de bonnes performances quel que soit le nombre de services disponibles (**Badawy et al., 2020**).
- **Sécurité** : Définie comme la protection, la détection et le traitement des clients et fournisseurs de services frauduleux (**Stergiou et al., 2020**).
- **Mobilité** : Il s'agit de scénarios dynamiques incluant des services mobiles (**Baltazar et al., 2020**).
- La méthode de détection **des frais généraux de maintenance** peut entraîner une augmentation des dépenses lors de l'application d'une approche (**Jafari et Abbaspour, 2020**).

2.9.1 Approches basées sur le contexte

De nombreux travaux se concentrent sur le contexte pour fournir des services basés sur le bon contexte. L'approche (**Wei et Jin, 2012**) fournit une infrastructure efficace pour soutenir la prestation de services centrée sur l'utilisateur et respectueuse de l'environnement. Le système a l'aptitude de découvrir les changements dynamiques dans l'entourage et fournit des services appropriés à l'utilisateur sans demander le service.

Le système fournit également une découverte des services web contextuelle traditionnelle en renvoyant des services correspondants à la requête de l'utilisateur prenant en considération le contexte de l'usager (par exemple, emplacement et préférence). Les auteurs dans **(He et al., 2012)** proposent un nouveau service web intelligent basé sur le contexte des objets utilisant les techniques REST.

Trois structures de mashup basées sur Thing-REST ont été développées pour coupler de manière libre les services Web d'ontologies. Les services web event-report pour implémenter un service web intelligent. Cependant **(Butt et al., 2013)** fournit une technique de sélection de services pour fournir le service adéquat à une application utilisateur en fonction des informations contextuelles disponibles pour l'usager et les services. Le travail entreprend des mécanismes de regroupement par lots et de synchronisation adaptative pour réduire les frais généraux de communication et le délai d'invocation du service. De plus, les auteurs **(Hussein et al., 2015)** exploitent les caractéristiques sociales et l'informatique cognitive contextuelle pour rendre gérables les services intelligents, adaptatifs et personnalisés. La tâche de découverte de services est effectuée en répertoriant les services qui correspondent à un ensemble de règles basées sur la cible contenue dans l'événement détecté.

2.9.2 Approches basées sur l'énergie

Dans les techniques de découverte de services sensibles à l'énergie, les chercheurs visent spécifiquement à minimiser l'utilisation d'énergie moyenne pendant le processus de découverte. Par exemple, une nouvelle méthode de transfert multicast pour la découverte de service est proposée dans **(Antonini et al., 2014)**.

Il convient aux réseaux de l'IdO à faible consommation d'énergie avec des dispositifs à cycle de service et nécessite un espace mémoire plus petit par rapport aux méthodes existantes. Les résultats obtenus à l'aide du simulateur Cooja montrent que la méthode proposée améliore la consommation d'énergie et réduit le délai moyen par rapport aux travaux précédents. Cependant, certains paramètres clés, tels que les frais généraux et la mobilité, n'ont pas été pris en compte.

Une autre technique d'économie d'énergie basée sur une structure multi-niveaux a été proposée dans **(Helal et El Mougy, 2015)**. Cette méthode a deux objectifs principaux : Un taux de réussite élevé et une efficacité énergétique pour répondre aux besoins des utilisateurs.

L'efficacité énergétique est obtenue en limitant le nombre de sauts pour répondre à la requête, et un taux de réussite élevé est obtenu en utilisant une structure hiérarchique de tableaux de hachage distribué (TDH) où les informations sur les capacités des capteurs sont stockées. Le mécanisme proposé à une évolutivité élevée et une faible consommation d'énergie, mais il ne prend pas en compte certaines métriques de découverte des services telles que le retard et l'hétérogénéité des objets.

Afin d'améliorer l'autonomie dans un environnement de l'IdO en minimisant l'intervention humaine dans la gestion et la découverte des services, une méthode basée sur les agents a été introduite dans **(Krivic et al., 2019)**. Il s'active automatiquement selon les règles et commandes définies par l'utilisateur.

La méthode proposée a tiré parti de certaines des opportunités de l'IdO, y compris les possibilités d'accès aux nœuds de capteurs via Internet et les composants matériels avancés utilisés par les appareils de l'IdO.

La mise en place d'algorithmes complexes pour l'analyse des données sur des objets, la possibilité de connexions multiples entre eux, et la possibilité que des services ne soient actifs qu'à certaines périodes ont été envisagées. Cette méthode améliore l'efficacité énergétique des appareils dans les cas où ils sont alimentés par une batterie limitée.

2.9.3 Approches basées sur la qualité de service

Avec l'émergence croissante de services massifs avec différentes qualités de service (QoS) dans l'environnement omniprésent d'IdO, de nombreux travaux visent à résoudre le problème de la sélection du service requis en fonction de critères de QoS. **(Khanouche et al., 2016)** propose une sélection des services énergétiques et sensibles à la QoS pour les environnements de l'IdO. L'approche de sélection proposée consiste en deux étapes : Présélection des services qui offrent le niveau de QoS requis pour satisfaire l'utilisateur à l'aide d'un lexicographique, une stratégie d'optimisation et technique de relaxation des contraintes QoS. Les services candidats obtenus lors de la phase de sélection initiale sont comparés à l'aide du concept de dominance relative du service, où la dominance relative du service candidat dépend des caractéristiques d'énergie, de qualité de service et des préférences des utilisateurs.

Une approche similaire (**Jin et al., 2017**) propose (PSM) (Physical Service Model) pour décrire un service physique hétérogène de l'IdO en termes de caractéristiques spatio-temporelles et identifie trois types de qualité de service (QoS), y compris spatio-temporelle, attributs positifs et négatifs. La sélection de service physique (PSS) est également fournie pour collecter et évaluer les valeurs de QoS pour les services candidats physiques (SCP) selon les choix de l'utilisateur.

2.9.4 Approches basées sur la sémantique

Plusieurs méthodes de découverte des services de l'IdO s'occupent de la technologie du Web sémantique pour l'appariement sémantique. Les auteurs dans (**Fredj et al., 2014**) fournissent un mécanisme efficace de découverte des services grâce à l'application de l'agrégation dynamique des services et du calcul de la similitude sémantique entre les services et les besoins basés sur quasi-métrique.

La mise en œuvre de ces mécanismes sémantiques réduit les coûts de découverte. (**Cassar et al., 2012**) propose un procédé de jumelage de service sémantique hybride pour les services de l'IdO qui combine la correspondance de service probabiliste à l'aide d'une analyse sémantique latente avec une méthode de matchmaking de signature logique basée sur le concept de liens uniques entre le paramètre source et le paramètre de destination.

La méthode proposée a un rendement plus élevé, mais l'enregistrement central des services a été effectué. En outre (**Zhou et Ma, 2012**) exploite un algorithme d'appariement de services basé sur l'ontologie pour la découverte des services dans l'IdO qui combine la similarité sémantique et la relativité sémantique. Le travail ne réalise aucune architecture. Enfin, dans (**De et al., 2012**), les auteurs ont suggéré un ensemble d'ontologies représentant des entités, des ressources et des services de l'IdO. Le modèle proposé est ensuite utilisé pour publier des instances d'entités et de ressources liées à l'IdO et les associer à des ressources sur le Web. Ce travail n'exécute aucun mécanisme de découverte des services de l'IdO.

Chapitre 2 : La découverte des services web

Catégories	Méthodes	Délai	Consommation d'énergie	Tolérance au panne	Hétérogénéité	Mobilité	Evolutivité	Sécurité	Disponibilité de services
Basée sur le contexte	TRENDY (Wei et Jin , 2012)	-	-	-	S	-	-	-	A
	Basé sur le réseau Bayésien (Butt et al., 2013)	D	-	-	-	-	A	-	-
	Loca (Li et al., 2015a)	-	-	A	S	-	A	A	A
	ProSA (Quevedo et al., 2016)	D	-	-	-	-	A	-	A
Basée sur la consommation d'énergie	Multicast-forwarding (Antonini et al., 2014)	D	D	S	S	-	-	-	-
	Architecture multicouches (Helal et al., 2015)	-	D	-	-	S	A	-	-
	Basé agent (Krivic et al., 2019)	-	D	S	S	-	A	-	-
Basée sur la qualité de service	Pair à pair Response (Cirani et al., 2014)	-	-	A	S	S	A	A	A
	threshold model (Rapti et al., 2016)	-	-	A	S	-	A	-	-
Basée sur la sémantique	Dynamic clustering (Fredj et al., 2014)	-	-	-	-	S	A	-	-
	OWL(Sasirekha et al., 2017)	-	-	-	-	-	A	-	-
	SLSA (Xia et al., 2019).	-	-	-	-	-	A	-	-

Tableau 2.1 : Comparaison entre les différentes techniques de la découverte des services dans l'IdO basée sur plusieurs mesures.

D : diminuer, **A :** augmenter, **S :** Supporter

2.10 Conclusion

Ces dernières années, le WEB est devenu une partie nécessaire et culturellement acceptable à l'analyse, à l'assemblage, et à la diffusion de l'information. Dans ce chapitre, nous avons donné dans la première partie un aperçu global sur les services Web. Tout d'abord, nous avons introduit la notion de services Web avec ses caractéristiques. Ensuite, nous avons présenté l'intérêt des services Web. De plus, nous avons exposé l'architecture orientée services (SOA) ainsi que les technologies fondamentales des services Web. Au terme de la première partie, nous avons donné quelques avantages et inconvénients des services web. Dans la seconde partie, au début, nous avons introduit la notion de la découverte des services. Ensuite, nous avons fourni ses critères. En outre, nous avons présenté les types de mécanismes de découverte des services. Puis, nous avons introduit les diverses approches de découverte des services web. Nous avons également montré les différentes approches de découverte des services Web dans l'IdO basées sur certaines métriques qualitatives en donnant une classification bien détaillée de ces approches. Nous avons terminé avec une conclusion. Le chapitre suivant va être réservé à la présentation de notre approche de la découverte des services proposée.

Chapitre 3 :

Une approche pour améliorer l'auto-organisation inspirée de mécanisme de cellules nerveuses

3.1 Introduction

3.2 Le système complexe

3.3 Auto-organisation

3.4 Emergence

3.5 Auto-organisation VS émergence

3.5.1 Similitude

3.5.2 Différence

3.6 Mécanismes d'auto-organisation

3.7 Une approche pour améliorer l'auto-organisation inspirée du mécanisme de cellules nerveuses dans l'IoT.

3.7.1 Le mécanisme des cellules nerveuses et son implication dans l'IoT.

3.7.2 Les étapes de l'approche proposée.

3.8 Un système de découverte des services inspiré du mécanisme de cellules nerveuses.

3.8.1 Le système de découverte proposé.

3.8.2 La structure interne des objets.

3.8.3 Le comportement des objets.

3.8.4 Diagramme d'interaction de la découverte des services.

3.8.5 Diagramme d'interaction de la détection d'une panne.

3.8.6 Implémentation

3.9 Conclusion

Chapitre 3 : Une approche pour améliorer l'auto- organisation inspirée du mécanisme de cellules nerveuses

3.1 Introduction

Nous rencontrons souvent des systèmes complexes à tous les niveaux de la vie quotidienne. Quand on discute du climat ou quand on observe une fourmilière, on évoque ces systèmes. De la même façon, la société humaine est aussi complexe que chaque homme qui la compose (complexité cellulaire). Nous avons donc une variété de systèmes complexes. Cette diversité explique en partie pourquoi tant de disciplines s'intéressent à les étudier. Les systèmes complexes sont caractérisés par l'auto-organisation et l'émergence. En effet, certains éléments sont capables de s'organiser en structures plus complexes et à différentes échelles.

Un excellent moyen d'obtenir des systèmes adaptatifs qui leur permettent de s'adapter à des événements inattendus est la dépendance à l'émergence de fonctionnalités et l'auto-organisation parmi ses composants. Diverses méthodes et mécanismes d'autorégulation ont été étudiés par des chercheurs.

Ces mécanismes sont extraits à partir d'exemples, deux propriétés d'auto-organisation et d'émergence apparaissent dans la nature. L'auto-organisation est un mécanisme qui se produit dans les systèmes naturels comme un moyen de s'adapter et de réagir à la dynamique environnementale. Ces systèmes s'adaptent souvent dans le sens où ils modifient leur organisation interne pour s'intégrer mieux pour le nouvel état de l'environnement. Nous avons été autorisés par les deux derniers chapitres à présenter d'une manière claire les services web, la découverte des services web et les techniques de découverte des services web dans l'IoT. La plupart des méthodes de découverte des services Web actuelles ne prennent pas en compte les défaillances de service ou les modifications de la qualité du service. Au cours de ce chapitre, nous allons présenter une approche de découverte des services auto organisée inspirée de mécanisme de cellules nerveuses dans l'IoT.

Chapitre 3 : Une approche pour améliorer l'auto-organisation inspirée du mécanisme de cellules nerveuses

3.2 Le système complexe

Un système complexe est fondé sur plusieurs entités homogènes ou hétérogènes en interférence locale et simultanée. Les interactions entre les entités de manière non linéaire sont difficiles pour l'esprit de les appréhender dans leur ensemble et de présenter différents aspects. Deux propriétés fondamentales caractérisent un système complexe, au niveau macro présentent une nouveauté et sont imprévisibles en termes de propriétés des interactions locales au niveau micro. C'est ce qu'on appelle l'émergence. La seconde est que le système s'auto-organise à travers plusieurs interactions locales (**Badr-Eddine, 2014**).

3.3 Auto-organisation

L'auto-organisation est un concept dérivé des systèmes naturels ou biologiques, par exemple, la communauté des insectes ou le système immunitaire humain. C'est un bon moyen de gérer les exigences dynamiques dans le logiciel. Ces systèmes sont autorisés à s'adapter pour évoluer de ses buts et de l'environnement sans contrôle externe explicite ni planning préparé à l'avance.

L'autorégulation du point de vue informatique est la capacité d'un système de s'ajuster au cours de son fonctionnement indépendamment sans intervention du concepteur (**Serugendo et al., 2011**).

3.4 Emergence

L'émergence est une propriété macroscopique d'un système complexe qui ne peut être déduit de son fonctionnement microscopique. S'il est imprévisible et irréductible des propriétés du niveau inférieur, même si elle est causée par des propriétés et des relations qui distinguent ses simples composants (**Badr-Eddine, 2014**).

3.5 Auto-organisation VS émergence

3.5.1 Similitude

L'émergence et l'auto-organisation sont deux processus dynamiques qui contrôlent le temps, et tous les deux sont puissants :

Chapitre 3 : Une approche pour améliorer l'auto-organisation inspirée du mécanisme de cellules nerveuses

- ✓ La robustesse dans l'émergence est évidente dans sa flexibilité.
- ✓ La robustesse dans l'autorégulation pour s'adapter aux changements et aussi dans l'ordre croissant (**Badr-Eddine, 2014**).

3.5.2 Différence

L'auto-organisation et l'émergence présentent des caractéristiques différentes dans un système :

- **Auto-organisation sans émergence** : Elle n'utilise pas la nouveauté et la flexibilité qui sont des caractéristiques de l'émergence.
- **Émergence sans autorégulation** : L'augmentation dans l'ordre, le manque de contrôle externe et l'adaptabilité sont des caractéristiques de l'auto-organisation.
- **La combinaison de l'émergence et de l'autorégulation** : L'émergence et l'auto-organisé se produisent généralement ensemble dans des systèmes considérés dans la littérature.

La combinaison des deux phénomènes fournit au système une organisation générée sans contrôle central mais où il existe également un effet micro macro apportant une nouveauté au système (**Badr-Eddine, 2014**).

3.6 Mécanismes d'auto-organisation

3.6.1 Système Immunitaire

Le système immunitaire de l'homme se compose d'un assemblage de molécules, de cellules, de tissus et d'organes qui forment un moyen de défense contre les agents pathogènes, c'est-à-dire les substances, les bactéries et les virus étrangers (**Badr-Eddine, 2014**).

Les systèmes immunitaires artificiels (AIS) semblent être un bon mécanisme d'auto-organisation pour les SMA. Ils ont deux avantages principaux :

- Les systèmes immunitaires ont la capacité d'apprendre et sont capables de s'adapter aux changements environnementaux.
- Les systèmes immunitaires peuvent facilement être utilisés comme un système récursif pour décomposer des problèmes de décision complexes.

Chapitre 3 : Une approche pour améliorer l'auto-organisation inspirée du mécanisme de cellules nerveuses

En effet, le système immunitaire est une entité que l'on peut considérer comme un tout, mais il est composé de petites entités.

3.6.2 La coopération

La coopération est le processus de travail ou de travailler ensemble, et elle se définit par le fait que deux agents coopèrent s'ils ont besoin de partager des ressources ou des compétences (Serugendo et al., 2011).

3.6.3 Les systèmes multi agents

Les systèmes multi-agents sont une spécialité de l'intelligence artificielle répartie qui s'intéresse particulièrement à la conception d'entités artificielles capables de s'organiser efficacement pour accomplir collectivement les tâches qui leur sont confiées.

3.7 Une approche pour améliorer l'auto-organisation inspirée du mécanisme de cellules nerveuses dans l'IoT

Nous présentons le mécanisme des neurones avec ses fonctions et ses implications dans l'IoT et nous montrons également les similitudes significatives entre le système nerveux et l'IoT.

3.7.1 Le mécanisme des cellules nerveuses et son implication dans l'IoT

L'esprit humain est sans doute l'objet le plus compliqué au monde pour ainsi dire que c'est la base de contrôle du corps tout entier par ailleurs, le cerveau réunit également plusieurs éléments différents dans la formation du corps humain, c'est ce qui lui permet de fournir une existence tout à fait favorable. Il se manipule automatiquement, il est donc responsable de notre comportement et de nos interactions avec les gens. En fait, il se compose de différentes parties qui sont reliées les unes aux autres de manière très spécifique. Chaque partie du cerveau a des tâches spécifiques à accomplir tout en se complétant. Le cerveau envoie et reçoit des messages pour une communication continue entre le monde extérieur et le soi.

Chapitre 3 : Une approche pour améliorer l'auto-organisation inspirée du mécanisme de cellules nerveuses

Les hémisphères cérébraux constituent les plus grandes parties du cerveau. Ils sont séparés en deux parties, l'hémisphère droit et l'hémisphère gauche. Les deux hémisphères gèrent l'ensemble de nos fonctions mentales au-dessus, de mouvement volontaire, de pensée, d'apprentissage et de mémoire. Chacun d'eux est divisé en différentes parties nommées lobes dans lesquels ces tâches sont dirigées : Le lobe frontal est le lieu de la pensée, de la parole, du langage, de la prise de décision, de la personnalité, du mouvement et du jugement ; lobe pariétal pour la lecture, la sensibilité et l'emplacement dans l'espace ; Le lobe occipital est pour la vision et le lobe temporal est le centre de l'ouïe, des émotions et de la mémoire.

Le système nerveux est composé de différentes cellules nerveuses. Il contient environ 25 milliards de neurones. Les neurones sont l'unité de travail de base dans le cerveau, et c'est un neurone qui est déchargé pour conduire des messages nerveux. Par conséquent, il transmet les informations à d'autres neurones. Chaque neurone est formé d'un organisme de cellules, dendrites et d'un axone. Le corps cellulaire est le pivot de la cellule et comporte le noyau et les organites. Il a des mesures variables (entre 5 et 120 microns).

Les informations sont envoyées depuis les neurones en amont via les dendrites (messages neuronaux qu'ils collectent auprès d'autres cellules). L'axone fait partie du corps cellulaire et ressemble souvent à de nombreuses branches plus petites avant de se terminer aux terminaisons nerveuses. C'est aussi un type de fibre nerveuse qui transmet les messages émis par les neurones et dont la longueur peut varier de quelques millimètres à (1) un mètre.

Un neurone maintient la communication avec de nombreux autres neurones grâce à une corrélation de signaux électriques appelés impulsions nerveuses ou potentiels d'action et chimiques.

Le signal qui se propage à travers les branches nerveuses est normalement électrique. Dans le cas d'une transmission d'un neurone à un autre, il n'y a pas de stabilité entre les neurones qui forment la synapse qui est la zone où l'extrémité de l'axone entre en contact avec un autre neurone. Les contacts synaptiques sont l'endroit où l'information est transmise d'une cellule nerveuse à une autre. Ils ont également formé des jonctions avec d'autres neurones où le terminal présynaptique d'une cellule se connecte à la membrane post synaptique de l'autre cellule. Ici, l'information est véhiculée par un message chimique.

Chapitre 3 : Une approche pour améliorer l'auto-organisation inspirée du mécanisme de cellules nerveuses

Ces substances ont également appelé molécules, neurotransmetteurs qui sont stockés à l'extrémité d'un neurone présynaptique, ils sont libérés dès l'arrivée d'un potentiel d'action et transmettent l'information au neurone postsynaptique. Le potentiel d'action se déplace le long du l'axone pour terminer son trajet au terminal synaptique. En fonction de l'élévation de la fréquence, les cellules nerveuses fournissent des produits chimiques (neurotransmetteurs). Ceux des vésicules sont libérés dans l'environnement d'un organisme animé au sein de la synapse, activant ou inhibant ainsi un deuxième neurone dendrite dans le corps cellulaire.

Encore une fois, la force nerveuse continue son chemin le long de ce second neurone et ainsi de suite. Il existe divers genres de neurotransmetteurs dont les plus courants sont la dopamine, la sérotonine, l'histamine et l'acétylcholine. Par exemple, les neurones qui produisent de la dopamine localisés dans un endroit profond du cerveau ont mis en œuvre la "substance noire" qui est essentielle à la domination des mouvements.

Le même principe s'emploie au cas où des messages acheminés d'un neurone à une cellule effectrice mais le neuromédiateur perdu par la cellule post-synaptique se rattache à la membrane de la cellule effectrice dressant une réponse de la part de la cellule relative à la quantité de neurotransmetteurs.

Les neurones forment des connexions de réseaux de neurones où le message peut être transmis de deux types : Lorsqu'un neurone présynaptique crée des synapses avec de nombreux neurones postsynaptiques, on parle de flux divergent et lorsque de nombreux neurones présynaptiques se synapsent avec un neurone postsynaptique, il fusionne le trafic.

Pour un système de l'IoT avec un grand nombre de nœuds hétérogènes déployés. Par conséquent, il est difficile de renforcer les nœuds avec des capacités d'autogestion et d'indépendance.

En tant que système auto-organisé, le système nerveux contient divers éléments tels que l'hétérogénéité des cellules réparties à différents endroits et également l'évolutivité, le système nerveux contient 100 milliards de cellules nerveuses dans lequel présente de grandes similitudes entre lui et de l'IoT comme suit :

Chapitre 3 : Une approche pour améliorer l'auto-organisation inspirée du mécanisme de cellules nerveuses

- Le système nerveux est formé de milliards de neurones qui impliquent différents nœuds hétérogènes dans le système de l'IoT.
- Les cellules nerveuses (neurones) du système nerveux libèrent et échangent des molécules chimiques (neurotransmetteurs) entre elles au niveau de la synapse. L'interaction entre les nœuds par ces neurotransmetteurs a construit un réseau d'échange d'informations pour le système de l'IoT où les nœuds peuvent travailler en collaboration pour adapter les tâches et les objectifs de l'IoT.

3.7.2 Les étapes de l'approche proposée

Nous proposons une approche auto-organisée inspirée du mécanisme de la cellule nerveuse dans le système de l'IoT en d'autres termes comment le système s'auto-organise en cas de panne ou d'échec pour qu'il puisse surveiller et garder son travail.

Dans notre approche, nous supposons une procédure composée de plusieurs cycles k (1,..n) et chaque cycle se compose de trois étapes notées étape 1, étape 2 et étape 3 (Fig. 3.1).

La première étape est l'étape d'envoi et de réception des neurotransmetteurs, la deuxième étape est le traitement des neurotransmetteurs et la dernière étape consiste à déterminer l'état du système. La transmission et la réception d'un neurotransmetteur sont la période de correspondance et de jugement de l'état d'un nœud où deux états de fonctionnement exclusifs sont conçus pour chaque nœud :

- **État de veille** : Un nœud en état de veille peut communiquer, échanger et envoyer des données à d'autres nœuds de sa région autonome et recevoir des demandes de service envoyées par des nœuds voisins. Les nœuds dans cet état consomment plus d'énergie que les autres nœuds qui sont dans un état mort.
- **État Mort** : Un nœud à l'état mort arrête d'envoyer des informations aux autres nœuds et ne peut pas détecter les demandes de service envoyées par les nœuds voisins. Un nœud dans cet état nécessite moins d'énergie et attend le prochain cycle.

Considérons que l'IoT se compose de N nœuds dispersés de manière aléatoire dans une zone prédéterminée, ici une liste d'états est définie pour indiquer si le nœud N_i n'est pas endormi ou mort dans le rond k , qui peut s'exprimer comme suit :

Chapitre 3 : Une approche pour améliorer l'auto-organisation inspirée du mécanisme de cellules nerveuses

- **Etat de nœud $(i, k) = 1$, si N_i est réveillé**
- **Etat de nœud $(i, k) = 0$, si N_i est mort**

Les interconnexions entre les nœuds sont l'une des caractéristiques essentielles de l'IoT qui doit reposer sur la transmission d'informations à travers certains types d'environnement. Les organismes biologiques du système nerveux contiennent différents types de neurotransmetteurs qui circulent et se lient.

Cela indique qu'un neurotransmetteur peut être introduit pour construire le réseau d'échange d'informations pour l'IoT. De plus, les zones autonomes associées aux neurotransmetteurs ont la capacité de renforcer les connexions entre certains nœuds pour améliorer leur coopération et leur fonctionnement.

3.7.2.1 Etape 01 : Transmission et réception de neurotransmetteurs

Dans cette étape, les nœuds de l'IoT obtiennent principalement des informations représentées par des molécules ou des neurotransmetteurs que les nœuds transmettent et reçoivent de l'autre voisin. Au début de chaque tour, le nœud vérifie d'abord la valeur de son registre d'état de fonctionnement. Si l'état de nœud $(i, k) = 1$, le nœud enverra périodiquement une quantité de neurotransmetteur (NT) à d'autres nœuds de sorte que le nœud N_i est éveillé et que les unités émettrices et réceptrices du neurotransmetteur sont activées.

Si l'état de nœud $(i, k) = 0$ est que le nœud n'envoie périodiquement aucune quantité de NT à d'autres nœuds, alors le nœud N_i est mort.

Pour le nœud N_i réveillé, l'indicateur **RFS_ind** est défini pour enregistrer si une **RFS (Request For Service)** a été reçue, donc :

RFS_ind $(i, t) = 1$, si RFS est détectée ou reçu à l'instant t .

RFS_ind $(i, t) = 0$, sinon.

Chapitre 3 : Une approche pour améliorer l'auto-organisation inspirée du mécanisme de cellules nerveuses

Ces cas apportent deux situations différentes qui peuvent être observées comme suit :

- Le nœud N_i est éveillé et a reçu au moins une **RFS**, indiquant qu'au moins un client demande un service se trouve autour du nœud N_i . Lorsque N_i reçoit **RFS**, il libère une quantité d'un neurotransmetteur dans la ronde k et l'envoie à lui-même pour augmenter sa valeur de neurotransmetteur ainsi que pour améliorer son état d'éveil. Après cela, N_i envoie une quantité supplémentaire de son **NT** à d'autres nœuds afin qu'il indique qu'il peut communiquer avec eux, échanger des informations, bien raisonner, justifier et améliorer leur état de fonctionnement. C'est le cas (N_i envoie une grande quantité de **NT** aux nœuds voisins).
- Si le nœud N_i est éveillé, mais qu'il n'a pas détecté **RFS**, cela indique qu'aucun client n'a besoin de service autour de ce nœud. N_i envoie une quantité de **NT** à d'autres nœuds afin de communiquer avec eux et de clarifier davantage leur statut. C'est le cas (N_i envoie la quantité de **NT** aux nœuds voisins).

N_j reçu **NT** : Chaque nœud N_j reçoit périodiquement une quantité de **NT** envoyée par N_i depuis les deux modules d'émission et de réception.

3.7.2.2 Etape 02 : Traitement des neurotransmetteurs

Pendant l'étape de traitement du neurotransmetteur, on compte périodiquement le nombre de nœuds non fonctionnels à la fois T dans une région donnée r à l'aide d'une fonction appelée **Ndead** qui forme trois paramètres qui sont le nœud N_i , l'instant T et la région donnée r qui peut être exprimée comme suit :

$\forall i, T$ - **Told** (N_i) $\geq P$ comme :

T : L'heure actuelle à laquelle le nœud N_i reçoit une quantité de neurotransmetteur.

Told : Le temps pendant lequel le nœud N_i reçoit ensuite une quantité d'un neurotransmetteur plus tard.

P : La période de temps en seconde (par exemple, **P = 10 s**).

Comme nous le savons, le cerveau de l'homme contient deux parties appelées les hémisphères cérébraux gauche et droit, et chacune d'elles a des rôles spécifiques et complémentaires.

Chapitre 3 : Une approche pour améliorer l'auto-organisation inspirée du mécanisme de cellules nerveuses

Chaque hémisphère est divisé en quatre parties appelées lobes, à travers lesquelles ces différentes tâches sont supportées : Le lobe frontal, le lobe pariétal, le lobe temporal et le lobe occipital.

Par conséquent, dans le système de l'IdO, cette région signifie qu'un espace ou une zone contenant des nœuds communiquent entre eux et fournissent des fonctions bien définies. Après ce calcul, on compare ce nombre de nœuds non fonctionnels à un seuil qui est une valeur ou une fonction prédéfinie par le concepteur du système et à partir de cette comparaison, l'état du système sera établi.

3.7.2.3 Etape 03 : Détermination de l'état du système

Cette étape vise à déterminer l'état du système par rapport à l'étape précédente. Les procédures détaillées de cette approche, y compris la détermination de l'état du système et peuvent être décrites dans la troisième partie de la figure (3.1). Si le nombre de nœuds non fonctionnels est inférieur au seuil et qu'il n'y a donc aucun effet sur les performances globales du système, cela indique que le système n'est pas défectueux et que les nœuds éveillés s'organisent implicitement pour maintenir et suivre les mêmes fonctions du système. Sinon, le système déclenche une alarme si les nœuds sont défaillants ou en panne, et l'alarme est déclenchée dès que le premier nœud détecte une violation du seuil, il déclenche une alarme. Notre approche d'auto-organisation vise à détecter les défaillances du système le plus tôt possible.

Chapitre 3 : Une approche pour améliorer l'auto-organisation inspirée du mécanisme de cellules nerveuses

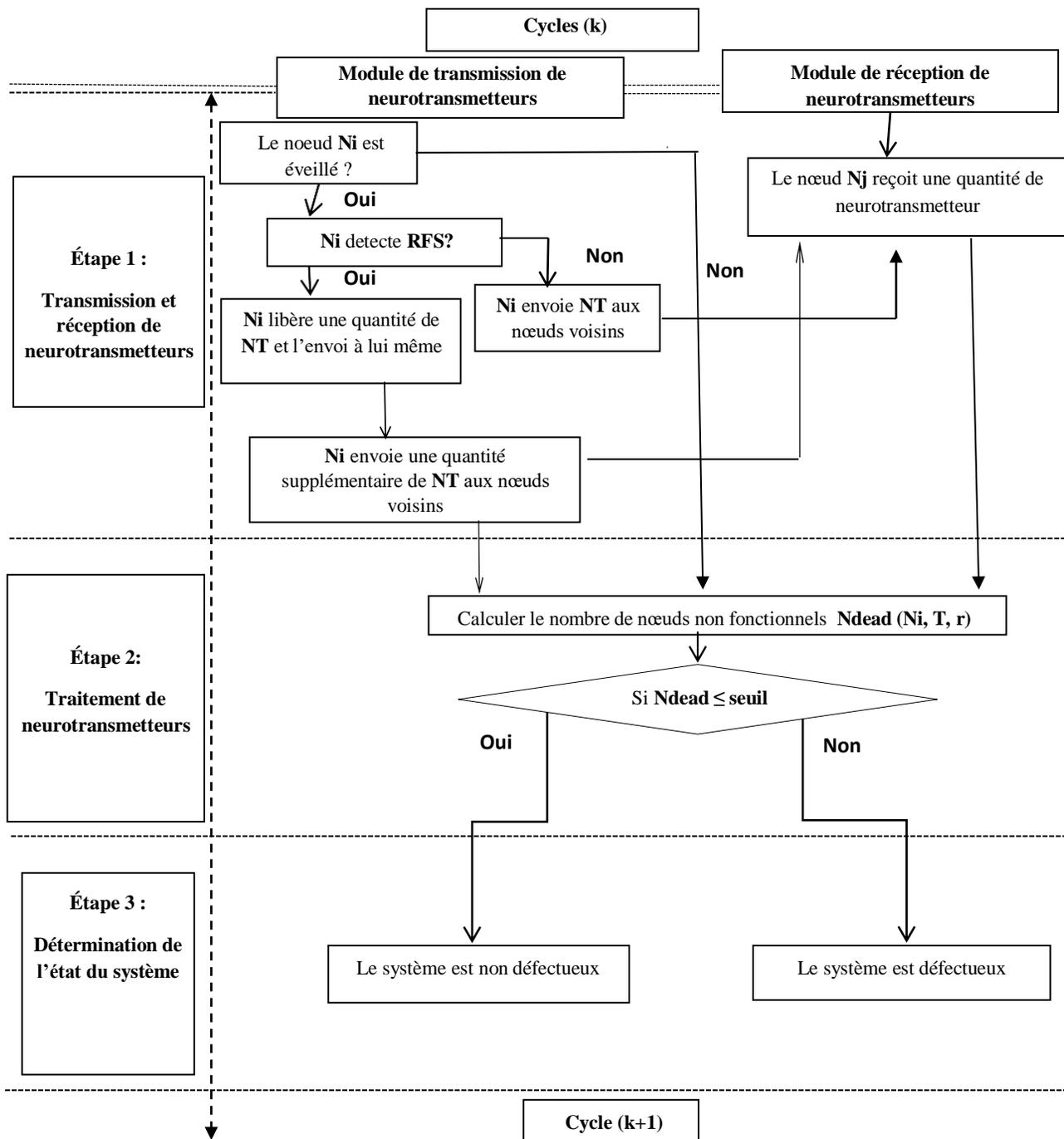


Figure 3.1 : Diagramme de l'approche proposée

3.8 Un système de la découverte des services inspiré du mécanisme de cellules nerveuses basée sur le système de l'IoT

3.8.1 Le système de découverte proposée

Le système de découverte de services suggéré est présenté dans la figure (3.2) et consiste également à :

- ✓ **Objet consommateur (Consumer Object (CO))** : Son comportement est d'expédier la demande de l'utilisateur aux objets fournisseurs de services et d'annoncer les meilleurs résultats trouvés à l'utilisateur au moyen de l'interface graphique de notre prototype suggéré.
- ✓ **Objet fournisseur de services (Service Provider Object (SPO))** : Il cherche à obtenir les services demandés en postant la demande de l'utilisateur. Ensuite, il détecte les meilleurs services retrouvés pour apporter le service composé en réponse à la demande de l'utilisateur.
- ✓ Au cours de ce travail, nous avons employé une comparaison lexicale pour la recherche des services.

3.8.2 La structure interne des objets

La conception de la structure interne des objets est d'une importance fondamentale car elle aidera à communiquer avec d'autres objets, d'interagir avec le système et le traitement interne de l'objet, voir figure (3.2) : Elle concerne les cinq modules présentés ci-dessous en plus de la communication interne et externe de l'objet.

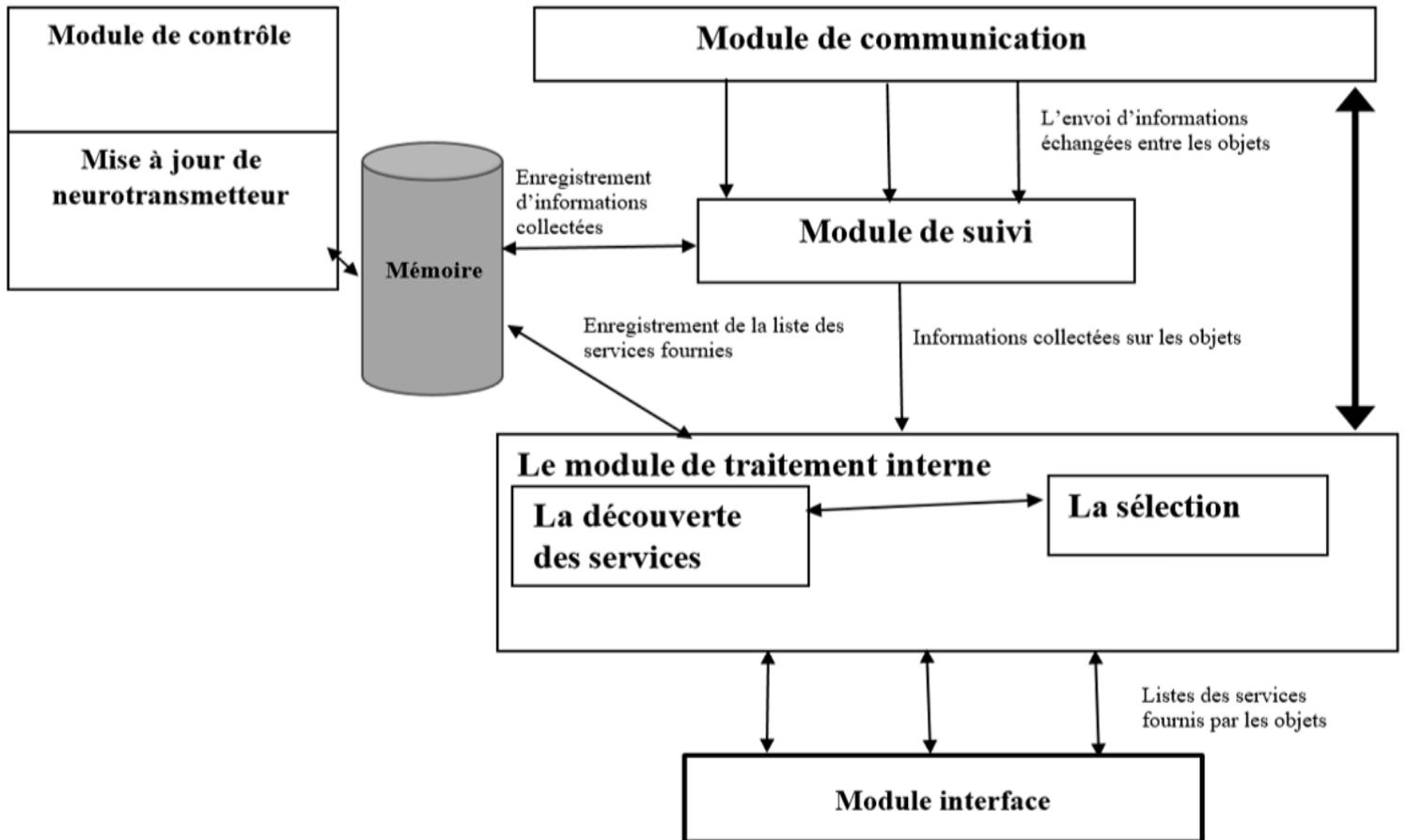


Figure 3.2 : La structure interne des objets.

3.8.2.1 Le module de communication : Il aide à la communication avec les autres objets et avec l'environnement.

3.8.2.2 Le module d'interface : Il annonce des renseignements aux utilisateurs au moyen d'une interface graphique (GUI), qui aide à l'interférence avec l'utilisateur.

3.8.2.3 Le module de suivi : Il est responsable de la collecte de renseignements sur d'autres objets et sur l'environnement par l'intermédiaire du module de suivi comme le repérage d'échec ou d'un dysfonctionnement d'un objet service.

Chapitre 3 : Un système de la découverte desservices dans l'IdO

✓ Le comportement de détection d'une panne

Quand le module de suivi d'un (SPO) découvre une déficience concernant son objet, il constitue un objet mobile « **objet_panne** » contenant les paramètres : "Adresse source : Adresse de l'objet en panne, adresse destination : L'adresse de l'objet fournisseur de service, les identificateurs des requêtes de découvertes dont l'objet fournisseur de service participe", la fonction de **l'objet_panne** est de changer la situation de l'objet (SPO) en "**panne**". Un objet (SPO) en panne expédie l'objet mobile « **objet_panne** » à d'autres (SPO) proches.

Le module de suivi pourrait se rencontrer dans deux situations, soit il découvre un dysfonctionnement au niveau de son objet, ou il pourrait réceptionner des renseignements qu'un autre objet est en panne à travers l'objet mobile '**objet_panne**'. Dans chacune de ces deux situations, il devrait répondre.

- ✓ Dans le premier cas, autrement dit : Il découvre une panne au niveau de son propre objet, il constitue un objet mobile '**objet_panne**' et l'expédie aux objets voisins pour les renseigner de son dysfonctionnement, c'est la diffusion de l'information.
- ✓ Dans le second cas, si le module de suivi d'objet découvre un dysfonctionnement au niveau d'un autre objet en recevant son propre « **objet_panne** », alors il devrait publier des informations sur l'échec, en envoyant « **objet_panne** ». Dans ce cas, ce dernier notifie ses objets voisins et s'enquiert d'autres objets qui fournissent un service équivalent à celui en panne pour poursuivre le traitement des demandes.

3.8.2.4 Le module de traitement interne

Est responsable de trouver des services qui répondent à la demande, nous avons adopté une comparaison lexicale et le choix du meilleur plan de découverte. Le procédé de sélection appliqué relève de la qualité du service préalablement fourni. Le cas où il y a divers chemins possibles, en d'autres termes plusieurs services voisins disponibles et offrant les mêmes fonctions, nous aurons besoin de calculer la probabilité de sélectionner l'objet suivant.

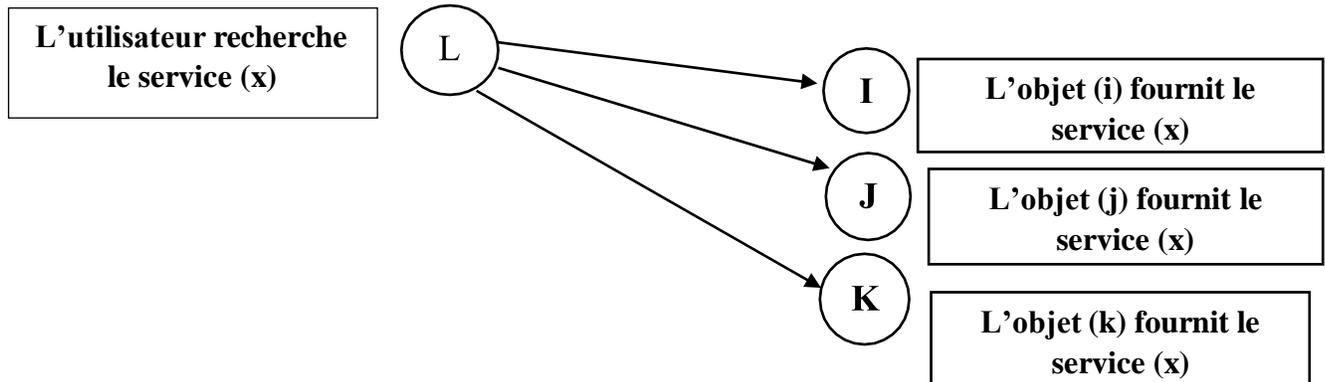


Figure 3.3 : Le choix du prochain objet

La formule au-dessous permet de calculer la probabilité de choisir la prochaine destination :

$$P_{i,j} = (QNT_j \times NB) / \sum_{k=1}^n (QNT_k \times NB) \dots\dots\dots (1)$$

Avec :

- **P_{i,j}** : Est la probabilité avec laquelle l'objet fournisseur de service (i) ou l'objet consommateur qui se trouve au niveau de l'objet (i) choisit l'objet (j).
- **QNT_j** : Est la quantité de neurotransmetteur déposée par les utilisateurs consommateurs du service (x) qui se trouve au niveau de l'objet (j).
- **NB** : Représente le nombre de services demandés par l'utilisateur et offert par l'objet (SPO).
- **N** : Est le nombre des objets (SPO) voisins.

Une fois les meilleurs services sont sélectionnés, la valeur d'utilité de chaque liste de services trouvés doit être calculée par l'objet (CO), en utilisant la formule mathématique (1).

Afin que le prototype proposé affiche les meilleures listes de services trouvés :

$$UtilListS = \sum_{j=1}^{nb} (Util(S_j)) \dots\dots\dots (2)$$

Chapitre 3 : Un système de la découverte desservices dans l'IdO

Avec :

- **nb** : Représente le nombre de services qui participent dans la liste de composition (LC).
- **Util(Sj)** : représente la valeur d'utilité du service (Sj), elle est calculée en utilisant la formule mathématique (3).

$$\text{Util}(\text{Sj}) = \sum_{x=1}^{\text{nbx}} (w_x \times N_x) \dots\dots\dots(3)$$

Avec :

w_x : Le poids correspondant au critère de la qualité (**x**) du service (**Sj**) désiré par l'utilisateur.

N_x : Est la valeur de la qualité de service (**Sj**) normalisée.

nbx: Représente le nombre des critères de qualité de service (**Sj**).

3.8.2.5 Le module de contrôle

Sa fonction est de mettre à jour la quantité de neurotransmetteur en fonction de la qualité du service rendue, adaptant ainsi l'approche suggérée au changement de l'environnement.

3.8.3 Le comportement des objets

3.8.3.1 Le comportement de découverte des services

Algorithme : La découverte des services

Entrée : Requête = {S1, S2, S3,..., SN}

Sortie : La liste des services trouvés avec leurs valeurs d'utilité.

1 : L'objet (CO) sélectionne pour chaque demande reçue les objets (SPOs) voisins pour leurs envoyer la requête, en utilisant l'équation (1).

Pour chaque objet (SPO) qui a reçu une requête

Répéter

Si L'objet (SPO) ne peut pas fournir tous les services demandés **alors**

2 : L'objet (SPO) sélectionne un autre objet (SPO) voisin (SPO2), en utilisant l'équation (1).

3 : L'objet SPO2 envoie la liste des services trouvés à (SPO).

Fin Si

Jusqu'à ce que l'objet (SPO) trouve tous les services demandés

4 : l'objet (SPO) envoie la liste des services trouvés à l'objet (CO).

5 : l'objet (CO) calcule la valeur d'utilité pour chaque liste de service trouvé, en utilisant l'équation (2).

Fin pour

7 : La mise à jour de la quantité de neurotransmetteur.

3.8.3.2 Le comportement de détection d'une panne

Algorithme : La détection d'une panne

Entrée : La détection d'une panne.

Sortie : La création d'un objet mobile « objet_panne ».

Chapitre 3 : Un système de la découverte desservices dans l'IdO

Si le module de suivi d'un objet (SPO) a détecté une panne au niveau de son objet **alors**

1 : Il crée un « **objet_panne** » qui contient comme paramètres :

« **Adresse source** : Adresse de l'objet en panne.

L'adresse destination : L'adresse de son objet fournisseur de services.

Les identificateurs des requêtes de découverte dont (SPO) participe ».

/*le rôle de l'objet panne est de changer le statut de l'objet (SPO) vers « panne ».*/*

2 : l'objet (SPO) en panne envoie l'objet mobile « **objet_panne** » vers ses (SPO)

voisins.

Fin si

3.8.4 Diagramme d'interaction de la découverte des services

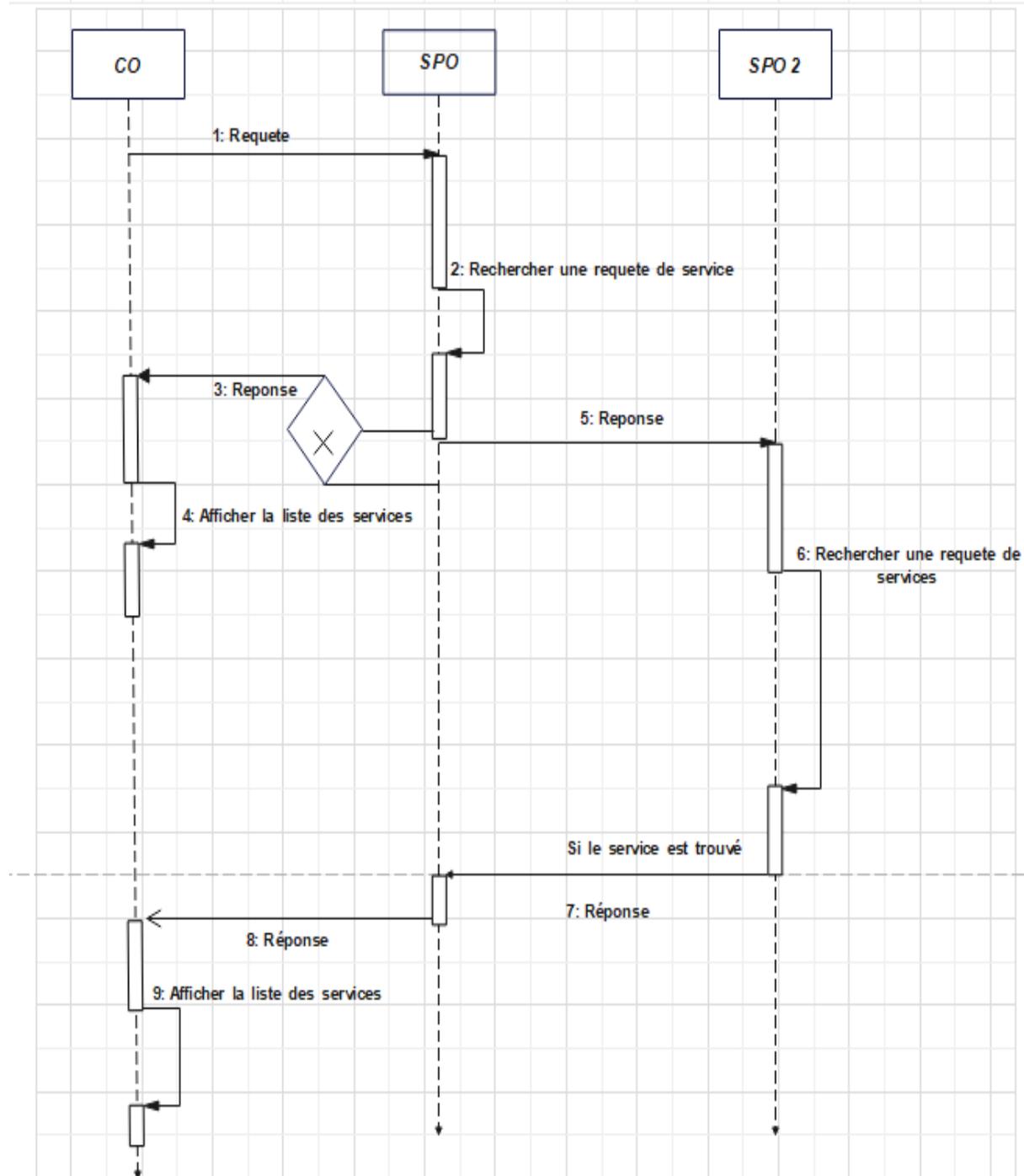


Figure 3.4 : Diagramme d'interaction de la découverte des services

3.8.5 Diagramme d'interaction de la détection d'une panne

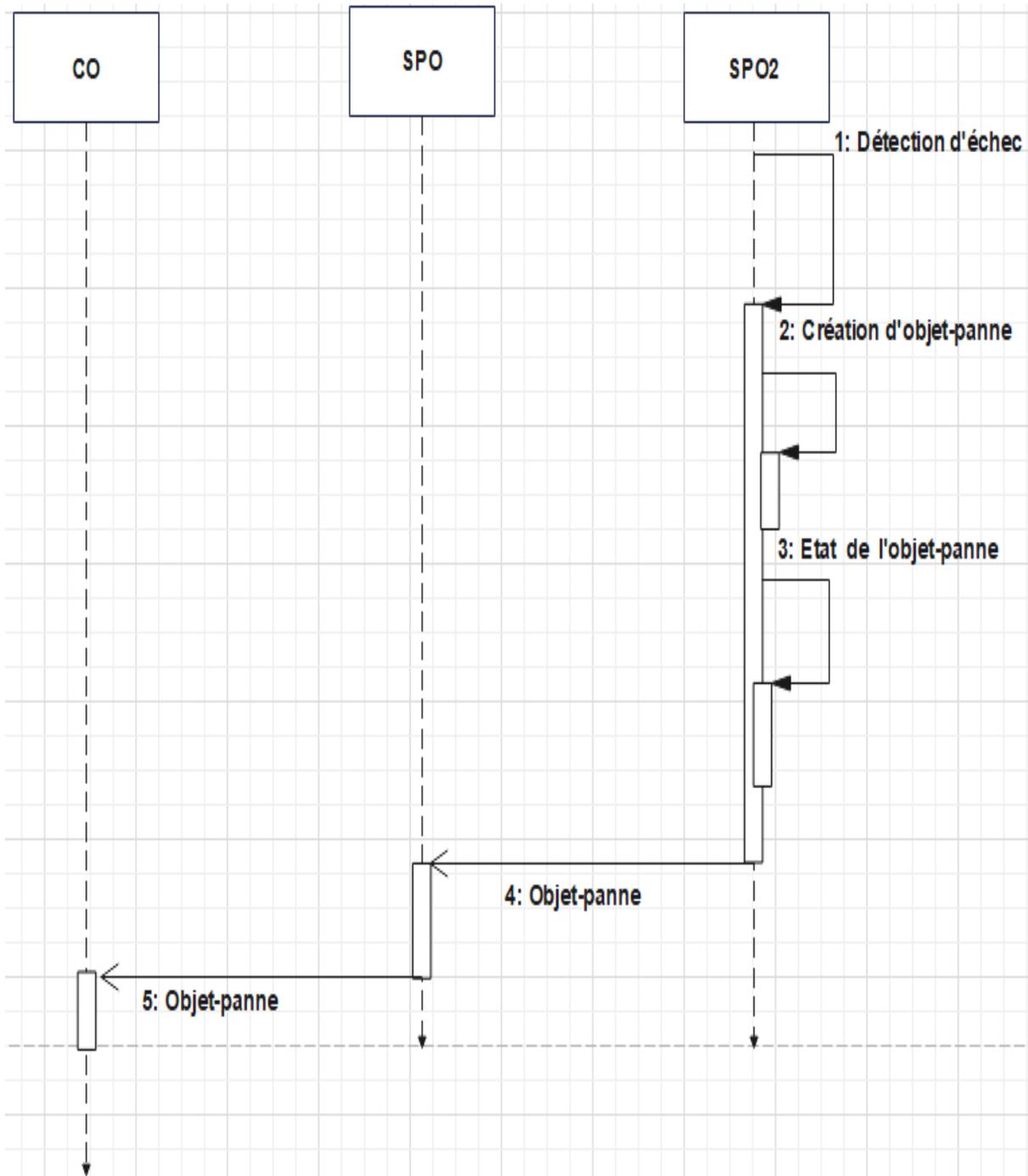


Figure 3.5 : Diagramme d'interaction de la détection d'une panne

3.8.6 Implémentation

Nos expérimentations et évaluations de l'approche de la découverte des services inspirée de mécanisme de cellules nerveuses dans l'IdO ont été réalisées en utilisant le langage de programmation java et en utilisant également la plateforme jade pour implémenter les comportant des objets (dans notre cas, on peut considérer l'objet comme un agent).

La découverte des services

- ✓ **Le cas : consommateur**
- **L'envoi d'une requête**

```
Requete requete = new Requete();
requete.set Services(services);
    Iterator<ASD>it = mesProvider.iterator();
    ASD Provider;
while (it.hasNext()) {
    Provider = it.next();
ACL Message msg = new ACL Message(ACL Message.REQUEST);
msg.set Content Object(requete);
msg.add Receiver(new AID(Provider.getName(), AID.ISLOCALNAME));
send(msg);
```

Chapitre 3 : Un système de la découverte desservices dans l'IdO

✓ **La découverte en cas de panne**

➤ **Création d'objet panne**

```
Public void create object (String name, String type, Object[] o)
```

```
throwsStaleProxyException {
```

```
Container Controller cc = get Container Controller();
```

```
Agent Controller object = cc.create NewAgent(name, "Project.object"+type, o);
```

```
object.start();}
```

```
Public void send object Panne() throwsStaleProxyException, Controller Exception {
```

```
String Provider = get AID().get Local Name();
```

```
ACL Message msg = receive();
```

```
String Name Sender = msg.get Sender().get Local Name();
```

```
String container Destination = Name Sender.get Container Name();
```

```
String container Source =get Container Controller().get Container Name(
```

```
create object ("object Requete_" + Provider , "Panne", new Object[] {
```

```
container Source,
```

```
container Destination,
```

```
}); }
```

3.9 Conclusion

Dans ce chapitre, nous avons proposé une approche d'auto organisation émergente inspirée par le mécanisme de cellules nerveuses pour le système de l'IdO. L'interconnexion et l'interaction globales entre les nœuds par les neurotransmetteurs créent le réseau de messagerie de l'IdO où les nœuds sont capables de travailler en coopération pour atteindre les tâches et les objectifs assignés de l'IdO. Les recherches futures pourraient inclure des approches possibles d'obtenir des services intelligents complets lorsque des objets physiques s'entraînent dans le processus de service recommandé.

Cela nécessite non seulement des mécanismes de découverte des services, mais également des modes de déploiement et de formation des services pendant l'exécution de manière distribuée, dont il faudrait s'occuper indépendamment au niveau de l'ensemble des étapes du parcours de vie des services. Certains mécanismes interactifs et coopératifs devraient être mis en œuvre pour parvenir à des stratégies plus intelligentes et omniprésentes pour l'échange de données et l'allocation des ressources dans l'environnement de l'IdO dynamique.

Chapitre 3 : Un système de la découverte desservices dans l'IdO

Conclusion Générale

Conclusion Générale

L'Internet des objets (IdO) a beaucoup attiré l'attention ces derniers temps. Il s'agit d'un paradigme émergent qui présente un assemblage d'objets intelligents reliés à Internet et coopérant avec d'autres ressources physiques et virtuelles présentées sur le Web. Il soutient également divers domaines et applications tels que la maison intelligente, l'assistance médicale intelligente, le transport informatique, etc. L'évolution des systèmes de l'IoT fait face à des défis majeurs comme la dynamique robuste des environnements de l'IoT ainsi que la grande distribution et la diversité des ressources disponibles. Cette dynamique apporte plusieurs nouveaux défis et besoins pour la découverte des services. Par conséquent, découvrir les services souhaités est devenu très difficile. Diverses solutions suggérées dans la littérature pour la découverte des services dans le domaine de l'IoT. La découverte efficace des services nécessaires dans l'Internet des objets fait face à des défis. Les approches classiques de découverte des services Web et leurs technologies employées ne correspondent pas à la découverte des services dans l'IoT. Cela revient à la divergence, entre les services de l'IoT et les services Web traditionnels. Les services de l'IoT sont directement reliés au monde physique car ils sont fournis par des objets du monde réel, déployés dans des appareils à ressources limitées avec des aptitudes limitées et effectués dans un environnement hautement dynamique, ouvert et automatique.

Approche proposée

Notre contribution contient deux parties, pour la première partie de la contribution, nous avons suggéré une approche auto-organisée inspirée du mécanisme de cellules nerveuses dans le système de l'IoT. Nous supposons une procédure composée de plusieurs cycles et chaque cycle se compose de trois phases fondamentales, la première est le transfert et la réception du neurotransmetteur, cette phase aide à spécifier l'état de fonctionnement du nœud s'il est dans un état mort ou en état veille. Si un nœud est dans un état veille, il pourrait communiquer et échanger des données avec d'autres nœuds proches ou d'autres nœuds. En contrepartie, s'il est mort, il ne pourrait pas communiquer et échanger des informations avec d'autres nœuds, et il ne peut pas détecter aucune requête de service.

Conclusion Générale

La deuxième étape est le traitement de neurotransmetteur, au cours de cette étape on dénombre régulièrement le nombre de nœuds non fonctionnels à l'instant T dans une zone donnée r au moyen d'une fonction appelée **Ndead** qui constitue trois paramètres qui sont le nœud N_i , l'instant T , et une zone donnée r comme nous l'avons exprimé dans le chapitre précédent. Après ce compte, ce nombre de nœuds non fonctionnels est comparé à un seuil qui est une valeur ou une fonction prédéfinie par le concepteur du système et à partir de cette comparaison, l'état du système sera établi. La dernière étape consiste à déterminer l'état du système s'il est défaillant ou non.

L'objectif de cette première partie de contribution est de détecter dès que possible la défaillance du système, c'est-à-dire comment le système s'auto-organise d'une manière implicite pour que le système puisse continuer et maintenir son fonctionnement. Quant à la seconde partie de contribution, nous avons suggéré une approche de découverte des services auto-organisée inspirée de mécanisme de cellules nerveuses dans l'IoT. Nous avons abouti à une modélisation interne des objets en cinq modules. Premièrement, le premier module garantit la communication et l'interaction entre les objets ainsi qu'avec l'environnement. Ensuite, le deuxième module qui sert d'interface pour annoncer des informations aux usagers permettant une interaction avec l'utilisateur. Le troisième module est chargé de rassembler des informations sur d'autres objets et donc sur l'environnement, par exemple le cas de dysfonctionnement au niveau d'un objet ou de la détection d'une panne.

Le quatrième module aide à rechercher et à choisir les services répondant à la requête de l'utilisateur, la technique de sélection utilisée dépendant de la qualité de service précédemment fourni. Le module suivant est un module de contrôle, dont le rôle est de mettre à jour la quantité de neurotransmetteur relativement à la qualité du service fourni, en adaptant l'approche suggérée aux variations de l'environnement. Dans cette approche, nous avons examiné certains des mécanismes de découverte des services dans l'IoT.

Ces mécanismes ont été utilisés pour résoudre des difficultés compliquées dans plusieurs domaines, tels que les problèmes de la découverte des services dans un environnement décentralisé, dynamique et ouvert.

Cependant, l'utilisation de l'auto-organisation est un très bon outil pour résoudre ce problème car elle aide le système à interagir avec le dynamisme de son environnement. Nous avons également résolu le problème du choix d'un service parmi un ensemble de services qui fournit la même qualité de service pour une fonctionnalité particulière.

Perspectives

Après avoir détaillé les deux parties de notre contribution et leurs objectifs, nous présentons les perspectives à court terme qui en découlent.

Nous suggérons d'abord d'associer une ontologie sémantique pour perfectionner le processus de recherche de services, puis nous proposons également d'effectuer des simulations et des tests en utilisant des services Web réels. Enfin, nous revenons à l'approche de découverte des services proposée, nous proposons l'implémentation et le test de prototype dans un réseau largement distribué.

Liste des Publications et Communications

Liste des Publications et Communications

- ✓ Besma, B., Hakim, B., & Ilham, K. (2021). Internet of Things: A Recent Survey. In 2021 International Conference on Recent Advances in Mathematics and Informatics (ICRAMI). <https://ieeexplore.ieee.org/document/9585953>

Bibliographie

Bibliographie

- ✓ Abdelwahab, S., Hamdaoui, B., Guizani, M., & Znati, T. (2016). Cloud of things for sensing-as-a-service: Architecture, algorithms, and use case. *IEEE Internet of Things Journal*, 3(6), 1099-1112.
- ✓ Abdmeziem, M. R., Tandjaoui, D., & Romdhani, I. (2016). Architecting the internet of things: state of the art. *Robots and Sensor Clouds*, 55-75.
- ✓ Abouzaid, M. F. (2010). Analyse formelle d'orchestrations de services Web (Doctoral dissertation, École Polytechnique de Montréal).
- ✓ ADDOUR, Drifa. Développement d'une plateforme pour la découverte de services web. (2013). Thèse de doctorat. Université de Boumerdès-M'hamed Bougara.
- ✓ Adelantado, F., Vilajosana, X., Tuset-Peiro, P., Martinez, B., Melia-Segui, J., & Watteyne, T. (2017). Understanding the limits of LoRaWAN. *IEEE Communications magazine*, 55(9), 34-40.
- ✓ Agiwal, M., Roy, A., & Saxena, N. (2016). Next generation 5G wireless networks: A comprehensive survey. *IEEE Communications Surveys & Tutorials*, 18(3), 1617-1655.
- ✓ Ahmed Malek, N. (2014). L'intelligence ambiante et les systèmes de transport intelligents. Mémoire du diplôme magister en informatique.
- ✓ Ahuja, K., & Dangey, H. (2014, February). Autonomic Computing: An emerging perspective and issues. In *2014 International Conference on Issues and Challenges in Intelligent Computing Techniques (ICICT)* (pp. 471-475). IEEE.
- ✓ Alaa, M., Zaidan, A. A., Zaidan, B. B., Talal, M., & Kiah, M. L. M. (2017). A review of smart home applications based on Internet of Things. *Journal of Network and Computer Applications*, 97, 48-65.
- ✓ Al-Fuqaha, A., Guizani, M., Mohammadi, M., Aledhari, M., & Ayyash, M. (2015). Internet of things: A survey on enabling technologies, protocols, and applications. *IEEE communications surveys & tutorials*, 17(4), 2347-2376.
- ✓ Algergawy, A., Nayak, R., Siegmund, N., Köppen, V., & Saake, G. (2010). Combining schema and level-based matching for web service discovery. In *Web Engineering: 10th International Conference, ICWE 2010, Vienna Austria, July 5-9, 2010. Proceedings 10* (pp. 114-128). Springer Berlin Heidelberg.
- ✓ All Traffic Solutions. (2022, 2 décembre). Solutions for Traffic Management. <https://www.alltrafficsolutions.com/>.
- ✓ Andrew, R. C., Malekian, R., & Bogatinoska, D. C. (2018, May). IoT solutions for precision agriculture. In *2018 41st International Convention on Information and Communication Technology, Electronics and Microelectronics (MIPRO)* (pp. 0345-0349). IEEE.
- ✓ Annotations for WSDL. <http://lsdis.cs.uga.edu/projects/meteor-s/SAWSDL/>.
- ✓ Antonini, M., Cirani, S., Ferrari, G., Medagliani, P., Picone, M., & Veltri, L. (2014, September). Lightweight multicast forwarding for service discovery in low-power IoT networks. In *2014 22nd International conference on software, telecommunications and computer networks (SoftCOM)* (pp. 133-138). IEEE.
- ✓ Anwaruddin, M., Sattar, M. A., & Ali, M. A. (2017). A Review on IoT-Technology, Application, Architecture, Services.

Bibliographie

- ✓ Applications d'entreprise. https://aws.amazon.com/fr/business-applications/?nc1=f_dr. Accessed: 2018-11-11(cf.p. 8).
- ✓ Appui Management de l'Economie. Programme de coopération MEDA. Développement d'applicatifs métiers pour le MTP. Mise en œuvre des services web avec JAX-WS.
- ✓ Ashton, K. (2009). That 'internet of things' thing. *RFID journal*, 22(7), 97-114.
- ✓ Atakul, B. Nesnelerin Interneti ve Kullanım Alanlari. (2015). <http://www.teknolo.com/nesnelerin-interneti-kullanim-alanlari/>.
- ✓ Badawy, M. M., Ali, Z. H., & Ali, H. A. (2020). QoS provisioning framework for service-oriented internet of things (IoT). *Cluster Computing*, 23, 575-591.
- ✓ Badr-Eddine. (2014). Résolution émergente et collective de problèmes : application à la segmentation auto-organisée des images.
- ✓ Bahashwan, A. A. O., & Manickam, S. (2019). A brief review of messaging protocol standards for internet of things (IoT). *Journal of Cyber Security and Mobility*, 1-14.
- ✓ Baltazar, S., Amaral, A., Barreto, L., Silva, J. P., & Gonçalves, L. (2020). The future of mobility as a service (MaaS): Driving through the internet of mobility (IoM). In *Implications of mobility as a service (MaaS) in urban and rural environments: Emerging research and opportunities* (pp. 247-272). IGI Global.
- ✓ Banouar, Y. (2017). Gestion autonome de la QoS au niveau middleware dans l'IoT (Doctoral dissertation, Université Paul Sabatier-Toulouse III).
- ✓ Baouab, A. (2013). Gouvernance et supervision décentralisée des chorégraphies inter-organisationnelles (Doctoral dissertation, Université de Lorraine).
- ✓ Bekkouche, A. (2012). Composition des Services Web Sémantiques À base d'Algorithmes Génétiques. Mémoire de magistère en informatique, Université Aboubekr Belkaid Tlemcen, Algérie.
- ✓ BELAID, Y. (2009). SERVICE WEB-SOAP. Urbanisation des SI-NFE107.
- ✓ Bellavista, P., Cardone, G., Corradi, A., & Foschini, L. (2013). Convergence of MANET and WSN in IoT urban scenarios. *IEEE Sensors Journal*, 13(10), 3558-3567.
- ✓ Bernstein, A., Kaufmann, E., Kiefer, C., & Bürki, C. (2005). Simpack: A generic java library for similarity measures in ontologies. University of Zurich, 20.
- ✓ Bertoli, P., Cimatti, A., & Traverso, P. (2004, January). Interleaving execution and planning for nondeterministic, partially observable domains. In *ECAI* (Vol. 16, p. 657).
- ✓ Bhagwan, R., Savage, S., & Voelker, G. M. (2003, February). Understanding availability. In *International Workshop on Peer-to-Peer Systems* (pp. 256-267). Springer, Berlin, Heidelberg.
- ✓ Billet, B. (2015). Système de gestion de flux pour l'Internet des objets intelligents (Doctoral dissertation, Université de Versailles-Saint Quentin en Yvelines).
- ✓ Birje, M. N., Kumbi, A. A., & Sutagundar, A. V. (2017). Internet of things: a survey of architecture, requirements and applications. *International Journal of Hyperconnectivity and the Internet of Things (IJHIoT)*, 1(2), 45-71.
- ✓ Bonabeau, E., Dorigo, M., Theraulaz, G., & Theraulaz, G. (1999). *Swarm intelligence: from natural to artificial systems* (No. 1). Oxford university press.
- ✓ Booth, D., Haas, H., McCabe, F., Newcomer, E., Champion, M., Ferris, C., & Orchard, D. (2004). Web services architecture-W3C working group note 11 february 2004.

Bibliographie

- World Wide Web Consortium, article available from: <http://www.w3.org/TR/ws-arch>, 13.
- ✓ Bormann, C., Lemay, S., Tschofenig, H., Hartke, K., Silverajan, B., & Raymor, B. (2018). CoAP (constrained application protocol) over TCP, TLS, and WebSockets (No. rfc8323).
 - ✓ Bottaro, A. (2008). Home SOA : Composition contextuelle de Services dans les Réseaux d'Equipements pervasifs (Doctoral dissertation, Université Joseph-Fourier- Grenoble I).
 - ✓ Boudaa, B. (2013). Vers une Substitution des Services Web sans Inconsistance Sémantique. arXiv preprint arXiv:1305.1666.
 - ✓ Butt, T. A., Phillips, I., Guan, L., & Oikonomou, G. (2013). Adaptive and context-aware service discovery for the internet of things. In Internet of Things, Smart Spaces, and Next Generation Networking: 13th International Conference, NEW2AN 2013 and 6th Conference, ruSMART 2013, St. Petersburg, Russia, August 28-30, 2013. Proceedings (pp. 36-47). Springer Berlin Heidelberg.
 - ✓ Cassar, G., Barnaghi, P., Wang, W., & Moessner, K. (2012, November). A hybrid semantic matchmaker for IoT services. In 2012 IEEE International Conference on Green Computing and Communications (pp. 210-216). IEEE.
 - ✓ Centenaro, M., Vangelista, L., Zanella, A., & Zorzi, M. (2016). Long-range communications in unlicensed bands: The rising stars in the IoT and smart city scenarios. *IEEE Wireless Communications*, 23(5), 60-67.
 - ✓ Cerami, E. (2002). Web services essentials: distributed applications with XML-RPC, SOAP, UDDI & WSDL. " O'Reilly Media, Inc."
 - ✓ Chabeb, Y. (2011). Contributions à la description et la découverte de services web sémantiques (Doctoral dissertation, Institut National des Télécommunications).
 - ✓ Changes - py-amqp 5.1.1 documentation. (s. d.). <https://docs.celeryq.dev/projects/amqp/en/latest/changelog.html>. [Accessed 22 June 2019].
 - ✓ Chappell, D. A., & Jewell, T. (2002). Java web services. *Tecniche Nuove*.
 - ✓ Charline D. (2011). Les produits blancs connectés ont-ils un avenir auprès des particuliers. Thèse professionnelle, MBA spécialisés et formation continue du pôle universitaire léonard de Vinci.
 - ✓ CHEMIDI Zoulikha. (2012). Sélection de services Web à base de colonies de fourmis. Université Aboubekr Belkaid.
 - ✓ Chen, F., Fu, Z., & Yang, Z. (2019). Wind power generation fault diagnosis based on deep learning model in internet of things (IoT) with clusters. *Cluster Computing*, 22, 14013-14025
 - ✓ Chen, H. C., Gulati, H., Kung, H. T., & Teerapittayanon, S. (2015, June). Compressive wireless pulse sensing. In 2015 International Conference on Collaboration Technologies and Systems (CTS) (pp. 5-11). IEEE.
 - ✓ Chen, Y. K. (2012, January). Challenges and opportunities of internet of things. In 17th Asia and South Pacific design automation conference (pp. 383-388). IEEE.

Bibliographie

- ✓ Chen, Y., & Kunz, T. (2016, April). Performance evaluation of IoT protocols under a constrained wireless access network. In 2016 International Conference on Selected Topics in Mobile & Wireless Networking (MoWNeT) (pp. 1-7). IEEE.
- ✓ Choi, S. I., & Koh, S. J. (2016). Use of proxy mobile IPv6 for mobility management in CoAP-Based internet-of-things networks. *IEEE Communications Letters*, 20(11), 2284-2287.
- ✓ Choi, Y., Hong, Y. G., & Youn, J. S. (2018). Transmission of IPv6 Packets over Near Field Communication draft-ietf-6lo-nfc-11. 6Lo Working Group.
- ✓ Cirani, S., Davoli, L., Ferrari, G., Léone, R., Medagliani, P., Picone, M., & Veltri, L. (2014). A scalable and self-configuring architecture for service discovery in the internet of things. *IEEE internet of things journal*, 1(5), 508-521.
- ✓ Clement, L., Hately, A., von Riegen, C., & Rogers, T. (2004). UDDI Version 3.0. 2, UDDI Spec. Technical Committee Draft, OASIS.
- ✓ Colakovic, A., & Hadzialic, M. (2018). Internet of Things (IoT): A review of enabling technologies, challenges, and open research issues. *Computer networks*, 144, 17-39.
- ✓ Contes, V. L. (2011). Une approche à composant pour l'orchestration de services à large échelle (Doctoral dissertation, Université Nice Sophia Antipolis).
- ✓ Coskun, V., Ozdenizci, B., & Ok, K. (2013). A survey on near field communication (NFC) technology. *Wireless personal communications*, 71(3), 2259-2294.
- ✓ Cover Pages: OASIS Consortium Members Approve UDDI Version 3 as an OASIS Standard. (2005, 2 février). <http://xml.coverpages.org/ni2005-02-02-a.htm>. CR-sawSDL-20070126/.
- ✓ Culler, D., & Chakrabarti, S. (2009). 6LoWPAN: Incorporating IEEE 802.15. 4 into the IP architecture. White paper.
- ✓ Curran, K., Millar, A., & Mc Garvey, C. (2012). Near field communication. *International Journal of Electrical and Computer Engineering*, 2(3), 371.
- ✓ Data Distribution Service (DDS). (2015). About the Data Distribution Service Specification Version 1.4. (s. d.). <https://www.omg.org/spec/DDS/1.4>.
- ✓ DDS Security. (2018). An OMG DDS Security, Needham, USA.
- ✓ De Poorter, E., Hoebeke, J., Strobbe, M., Moerman, I., Latré, S., Weyn, M., ... & Famaey, J. (2017). Sub-GHz LPWAN network coexistence, management and virtualization: an overview and open research challenges. *Wireless Personal Communications*, 95(1), 187-213.
- ✓ De, S., Elsaleh, T., Barnaghi, P., & Meissner, S. (2012). An internet of things platform for real-world and digital objects. *Scalable Computing: Practice and Experience*, 13(1), 45-58.
- ✓ Devasena, C. L. (2016). IPv6 low power wireless personal area network (6LoWPAN) for networking Internet of things (IoT)-analyzing its suitability for IoT. *Indian Journal of Science and Technology*, 9(30), 1-6.
- ✓ Ding, Y., Sun, H., & Hao, K. (2007). A bio-inspired emergent system for intelligent Web service composition and management. *Knowledge-Based Systems*, 20(5), 457-465.

Bibliographie

- ✓ Dizdarevic, J., Carpio, F., Jukan, A., & Masip-Bruin, X. (2019). A survey of communication protocols for internet of things and related challenges of fog and cloud computing integration. *ACM Computing Surveys (CSUR)*, 51(6), 1-29.
- ✓ Djamel Eddine Kouicem, Abdelmadjid Bouabdallah, and Hicham Lakhlef. Internet of things security: A top-down survey. *Computer Networks*, 141:199- 221, 2018.
- ✓ Dodani, M. H. (2004). From Objects to Services: A Journey in Search of Component Reuse Nirvana. *J. Object Technol.*, 3(8), 49-54.
- ✓ Dorsemaine, B., Gaulier, J. P., Wary, J. P., Kheir, N., & Urien, P. (2015, September). Internet of things: a definition & taxonomy. In *2015 9th International Conference on Next Generation Mobile Applications, Services and Technologies* (pp. 72-77). IEEE.
- ✓ Eclipse IoT Working Group and IEEE IoT. IoT Developer Survey Results. (2019). Eclipse Foundation. IoT development made simple - iot.eclipse.org. Eclipse IoT. <https://iot.eclipse.org/community/resources/iot-surveys/assets/iot-comm-adoption-survey-2019.pdf>.
- ✓ El Bitar, I. (2014). CBR4WSD : Une approche de découverte de services Web par Raisonnement à Partir de Cas (Doctoral dissertation, Ecole Mohammadia d'Ingénieurs- Université Mohammed V de Rabat-Maroc).
- ✓ Essafi, T., Dorta, N., Seret, D., & Makpangou, M. (2005, July). A scalable peer-to-peer approach to service discovery using ontology. In *Proc of 9th World Multiconference on Systemics, Cybernetics and Informatics, Orlando*.
- ✓ Fan, J., Ren, B., & Xiong, L. R. (2005). An approach to web service discovery based on the semantics. In *Fuzzy Systems and Knowledge Discovery: Second International Conference, FSKD 2005, Changsha, China, August 27-29, 2005, Proceedings, Part II 2* (pp. 1103-1106). Springer Berlin Heidelberg.
- ✓ Farrell, J., & Lausen, H. (2007). Semantic annotations for WSDL and XML schema. *W3C recommendation*, 28.
- ✓ FethAllah, H. (2014). Composition et interopération des services web sémantiques. *These de Doctorat en informatique. Université Tlemcen*.
- ✓ Fethallah, H., Amine, C., & Amine, B. (2010, June). Automated discovery of web services: an interface matching approach based on similarity measure. In *Proceedings of the 1st International Conference on Intelligent Semantic Web-Services and Applications* (pp. 1-4).
- ✓ Foster, A. (2015). Messaging technologies for the industrial internet and the internet of things. *PrismTech Whitepaper*, 21. StackPath. (s. d.). <https://www.smartindustry.com/assets/Uploads/SIWP-Prismtech-Messaging-Tech>.
- ✓ Fredj, S. B., Boussard, M., Kofman, D., & Noirie, L. (2014, September). Efficient semantic-based IoT service discovery mechanism for dynamic environments. In *2014 IEEE 25th annual international symposium on personal, indoor, and mobile radio communication (PIMRC)* (pp. 2088-2092). IEEE.
- ✓ Gardasevic, G., Veletic, M., Maletic, N., Vasiljevic, D., Radusinovic, I., Tomovic, S., & Radonjic, M. (2017). The IoT architectural framework, design issues and application domains. *Wireless personal communications*, 92(1), 127-148.

Bibliographie

- ✓ Garofalakis, J., Panagis, Y., Sakkopoulos, E., & Tsakalidis, A. (2004, August). Web service discovery mechanisms: Looking for a needle in a haystack. In *International Workshop on Web Engineering* (Vol. 38, p. 25).
- ✓ Gartner. Internet of Things Defined - Tech Definitions. <https://www.gartner.com/it-glossary/internet-of-things.htm>. Accessed: (2019-09-11).
- ✓ Gleizes, M. P. (2004). *Vers la résolution de problèmes par émergence*. Habilitation à diriger des recherches de l'Université Paul Sabatier, Toulouse, Décembre.
- ✓ Gómez Montenegro, C., Darroudi, S. M., Savolainen, T., & Spoerk, M. (2019). IPv6 Mesh over BLUETOOTH (R) Low Energy using IPSP.
- ✓ Gomez, C., Oller, J., & Paradells, J. (2012). Overview and evaluation of bluetooth low energy: An emerging low-power wireless technology. *Sensors*, 12(9), 11734-11753.
- ✓ Granjal, J., Monteiro, E., & Silva, J. S. (2015). Security in the integration of low-power Wireless Sensor Networks with the Internet: A survey. *Ad Hoc Networks*, 24, 264-287.
- ✓ Gubbi, J., Buyya, R., Marusic, S., & Palaniswami, M. (2013). Internet of Things (IoT): A vision, architectural elements, and future directions. *Future generation computer systems*, 29(7), 1645-1660.
- ✓ Guinard, D. D., & Trifa, V. M. (2016). *Building the web of things: with examples in node.js and raspberry pi*. Simon and Schuster.
- ✓ Gupta, B. B., & Quamara, M. (2020). An overview of Internet of Things (IoT): Architectural aspects, challenges, and protocols. *Concurrency and Computation : Practice and Experience*, 32(21), e4946.
- ✓ HAKIM, B. (2012). *Sélection des web services sémantiques*. (Doctoral dissertation, Université de Béjaia-Abderrahmane Mira).
- ✓ Hakiri, A., Gokhale, A., Berthou, P., Schmidt, D. C., & Gayraud, T. (2014). Software-defined networking: Challenges and research opportunities for future internet. *Computer Networks*, 75, 453-471.
- ✓ Hamida, S. (2014). *Une approche basée agent mobile pour le m-service web sémantique* (Doctoral dissertation, Université Mohamed Khider Biskra).
- ✓ Hammoudi, S., Aliouat, Z., & Harous, S. (2018). Challenges and research directions for Internet of Things. *Telecommunication Systems*, 67(2), 367-385.
- ✓ Han, M., & Zhang, H. (2013). Business intelligence architecture based on internet of things. *Journal of Theoretical & Applied Information Technology*, 50(1), 90-95.
- ✓ Hassan, R., Jubair, A. M., Azmi, K., & Bakar, A. (2016, December). Adaptive congestion control mechanism in CoAP application protocol for internet of things (IoT). In *2016 International Conference on Signal Processing and Communication (ICSC)* (pp. 121-125). IEEE.
- ✓ He, J., Zhang, Y., Huang, G., & Cao, J. (2012). A smart web service based on the context of things. *ACM Transactions on Internet Technology (TOIT)*, 11(3), 1-23.
- ✓ Helal, R., & ElMougy, A. (2015, October). An energy-efficient service discovery protocol for the IoT based on a multi-tier WSN architecture. In *2015 IEEE 40th Local Computer Networks Conference Workshops (LCN Workshops)* (pp. 862-869). IEEE.
- ✓ Honderich, T. (Ed.). (2005). *The Oxford companion to philosophy*. OUP Oxford.
- ✓ Hugo Hass & Allen Brown. (2004). *Web Services Glossary*. (s. d.). <https://www.w3.org/TR/ws-gloss/>.

Bibliographie

- ✓ Hussein, D., Park, S., & Crespi, N. (2015, January). A cognitive context-aware approach for adaptives services provisioning in Social Internet of Things. In 2015 IEEE International Conference on Consumer Electronics (ICCE) (pp. 192-193). IEEE.
- ✓ Insiteo. (2019). [http:// www.insiteo.com/joomla /index.php/fr/](http://www.insiteo.com/joomla/index.php/fr/)
- ✓ Jafari Kaleibar, F., & Abbaspour, M. (2020). TOPVISOR: Two-level controller-based approach for service advertisement and discovery in vehicular cloud network. *International Journal of Communication Systems*, 33(3), e4197.
- ✓ Jin, X., Chun, S., Jung, J., & Lee, K. H. (2017). A fast and scalable approach for IoT service selection based on a physical service model. *Information Systems Frontiers*, 19, 1357-1372.
- ✓ Joe, M. M., & Ramakrishnan, B. (2016). Review of vehicular ad hoc network communication models including WVANET (Web VANET) model and WVANET future research directions. *Wireless networks*, 22(7), 2369-2386.
- ✓ Johnson, D., & Ketel, M. (2019). IoT: Application Protocols and Security. *International Journal of Computer Network & Information Security*, 11(4).
- ✓ Jun young K. (2015). Secure and Efficient Management Architecture for the IoTs. proceedings of the 13th ACM Conference on Embedded Networked Sensor Systems, School of Computer Science and Engineering, 499-500, UNSW Australia.
- ✓ Kambourakis, G., Koliass, C., Geneiatakis, D., Karopoulos, G., Makrakis, G. M., & Kounelis, I. (2020). A state-of-the-art review on the security of mainstream IoT wireless PAN protocol stacks. *Symmetry*, 12(4), 579.
- ✓ Karagiannis, V., Chatzimisios, P., Vazquez-Gallego, F., & Alonso-Zarate, J. (2015). A survey on application layer protocols for the internet of things. *Transaction on IoT and Cloud computing*, 3(1), 11-17.
- ✓ Kaufer, F., & Klusch, M. (2006, December). Wsmo-mx: A logic programming based hybrid service matchmaker. In 2006 European Conference on Web Services (ECOWS'06) (pp. 161-170). IEEE.
- ✓ Keller, U., Lara, R., Lausen, H., Polleres, A., & Fensel, D. (2005). Automatic location of services. In *The Semantic Web: Research and Applications: Second European Semantic Web Conference, ESWC 2005, Heraklion, Crete, Greece, May 29-June 1, 2005. Proceedings 2* (pp. 1-16). Springer Berlin Heidelberg.
- ✓ Keller, U., Lara, R., Polleres, A., Toma, I., Kifer, M., & Fensel, D. (2004). Wsmo web service discovery. *WSML Working Draft D*, 5.
- ✓ Khan, A. A., Rehmani, M. H., & Rachedi, A. (2017). Cognitive-radio-based internet of things: Applications, architectures, spectrum related functionalities, and future research directions. *IEEE wireless communications*, 24(3), 17-25.
- ✓ Khan, R., Khan, S. U., Zaheer, R., & Khan, S. (2012, December). Future internet: the internet of things architecture, possible applications and key challenges. In 2012 10th international conference on frontiers of information technology (pp. 257-260). IEEE.
- ✓ Khanouche, M. E., Amirat, Y., Chibani, A., Kerkar, M., & Yachir, A. (2016). Energy-centered and QoS-aware services selection for Internet of Things. *IEEE Transactions on Automation Science and Engineering*, 13(3), 1256-1269.
- ✓ Kiefer, C. (2008). *Non-Deductive Reasoning for the Semantic Web and Software Analysis* (Doctoral dissertation, University of Zurich).

Bibliographie

- ✓ Kiefer, C., & Bernstein, A. (2008). The creation and evaluation of isparql strategies for matchmaking. In *The Semantic Web: Research and Applications: 5th European Semantic Web Conference, ESWC 2008, Tenerife, Canary Islands, Spain, June 1-5, 2008 Proceedings 5* (pp. 463-477). Springer Berlin Heidelberg.
- ✓ Kiefer, C., Bernstein, A., Lee, H. J., Klein, M., & Stocker, M. (2007). Semantic process retrieval with iSPARQL. In *The Semantic Web: Research and Applications: 4th European Semantic Web Conference, ESWC 2007, Innsbruck, Austria, June 3-7, 2007. Proceedings 4* (pp. 609-623). Springer Berlin Heidelberg.
- ✓ Klein, M., & König-Ries, B. (2004). Coupled signature and specification matching for automatic service binding. In *Web Services: European Conference, ECOWS 2004, Erfurt, Germany, September 27-30, 2004. Proceedings* (pp. 183-197). Springer Berlin Heidelberg.
- ✓ Klein, M., König-Ries, B., & Mussig, M. (2005). What is needed for semantic service descriptions? A proposal for suitable language constructs. *International Journal of Web and Grid Services*, 1(3-4), 328-364.
- ✓ Klusch, M., & Kapahnke, P. (2008, October). Semantic web service selection with SAWSDL-MX. In *The 7th International Semantic Web Conference* (p. 3).
- ✓ Klusch, M., Fries, B., & Sycara, K. (2006, May). Automated semantic web service discovery with OWLS-MX. In *Proceedings of the fifth international joint conference on Autonomous agents and multiagent systems* (pp. 915-922).
- ✓ Kopecký, J., Vitvar, T., Bournez, C., & Farrell, J. (2007). Sawsdl: Semantic annotations for wsdL and XML schema. *IEEE Internet Computing*, 11(6), 60-67.
- ✓ Krivic, P., Skocir, P., & Kusek, M. (2019). Agent-based approach for energy-efficient IoT services discovery and management. In *Agents and Multi-Agent Systems: Technologies and Applications 2018: Proceedings of the 12th International Conference on Agents and Multi-Agent Systems: Technologies and Applications (KES-AMSTA-18) 12* (pp. 57-66). Springer International Publishing.
- ✓ Küster, U., & König-Ries, B. (2008, October). Evaluating semantic web service matchmaking effectiveness based on graded relevance. In *The 7th International Semantic Web Conference (Vol. 35)*.
- ✓ Kyriazis, D., & Varvarigou, T. (2013). Smart, autonomous and reliable Internet of Things. *Procedia Computer Science*, 21, 442-448.
- ✓ Lee, I., & Lee, K. (2015). The Internet of Things (IoT): Applications, investments, and challenges for enterprises. *Business horizons*, 58(4), 431-440.
- ✓ Lesjak, C., Hein, D., Hofmann, M., Maritsch, M., Aldrian, A., Priller, P., ... & Pregartner, G. (2015, July). Securing smart maintenance services: Hardware-security and TLS for MQTT. In *2015 IEEE 13th international conference on industrial informatics (INDIN)* (pp. 1243-1250). IEEE.
- ✓ Li, J., Zaman, N., & Li, H. (2015a, June). A decentralized locality-preserving context-aware service discovery framework for internet of things. In *2015 IEEE international conference on services computing* (pp. 317-323). IEEE.
- ✓ Li, S., Xu, L. D., & Zhao, S. (2015b). The internet of things: a survey. *Information systems frontiers*, 17(2), 243-259.

Bibliographie

- ✓ Li, Y., Huang, Y., Zhang, M., & Rajabion, L. (2020). Service selection mechanisms in the Internet of Things (IoT): a systematic and comprehensive study. *Cluster Computing*, 23, 1163-1183.
- ✓ Lin, J., Yu, W., Zhang, N., Yang, X., Zhang, H., & Zhao, W. (2017). A survey on internet of things: Architecture, enabling technologies, security and privacy, and applications. *IEEE internet of things journal*, 4(5), 1125-1142.
- ✓ LoRa Alliance, L. A. (2018). LoRaWAN™ 1.0. 3 Specification. lora-alliance.org, 1.
- ✓ LoRa Alliance. (2022e, novembre 19). Homepage. LoRa Alliance®. <https://lora-alliance.org/>.
- ✓ Maalel, N., Natalizio, E., Bouabdallah, A., Roux, P., & Kellil, M. (2013, May). Reliability for emergency applications in internet of things. In *2013 IEEE international conference on distributed computing in sensor systems* (pp. 361-366). IEEE.
- ✓ Maamar, Z., Sheng, Q. Z., Tata, S., Benslimane, D., & Sellami, M. (2009). Towards an approach to sustain web services high availability using communities of web services. *International Journal of Web Information Systems*, 5(1), 32-55.
- ✓ Mainetti, L., Patrono, L., & Vilei, A. (2011, September). Evolution of wireless sensor networks towards the internet of things: A survey. In *SoftCOM 2011, 19th international conference on software, telecommunications and computer networks* (pp. 1-6). IEEE.
- ✓ Maram, B., Gnanasekar, J. M., Manogaran, G., & Balaanand, M. (2019). Intelligent security algorithm for UNICODE data privacy and security in IOT. *Service Oriented Computing and Applications*, 13(1), 3-15.
- ✓ Marin, C. (2008). Une approche orientée domaine pour la composition de services (Doctoral dissertation, Grenoble 1).
- ✓ Martin, D., Paolucci, M., McIlraith, S., Burstein, M., McDermott, D., McGuinness, D., ... & Sycara, K. (2005). Bringing semantics to web services: The OWL-S approach. In *Semantic Web Services and Web Process Composition: First International Workshop, SWSWPC 2004, San Diego, CA, USA, July 6, 2004, Revised Selected Papers 1* (pp. 26-42). Springer Berlin Heidelberg.
- ✓ Michael C. Jaeger. (2011). OWL-S Matcher.
- ✓ Michael, P. (2007). *Web services: Principles and technology*. New Jersey: Prentic Hall, 784.
- ✓ Mishra, N., Verma, L. P., Srivastava, P. K., & Gupta, A. (2018). An analysis of IoT congestion control policies. *Procedia computer science*, 132, 444-450.
- ✓ Moghaddam, M., & Davis, J. G. (2014). Service selection in web service composition: A comparative review of existing approaches. *Web services foundations*, 321-346.
- ✓ Mohebbi, K., Ibrahim, S., Khezrian, M., Munusamy, K., & Tabatabaei, S. G. H. (2010, November). A comparative evaluation of semantic web service discovery approaches. In *Proceedings of the 12th international conference on information integration and web-based applications & services* (pp. 33-39).
- ✓ Mouha, R. A. (2021). Internet of Things (IoT). *Journal of Data Analysis and Information Processing*, 9(2), 77-101.
- ✓ MQTT v5.0 now an official OASIS standard. MQTT - The Standard for IoT Messaging. (s. d.). <https://mqtt.org/>. [Accessed 6 August 2019].

Bibliographie

- ✓ Naik, N. (2017, October). Choice of effective messaging protocols for IoT systems: MQTT, CoAP, AMQP and HTTP. In 2017 IEEE international systems engineering symposium (ISSE) (pp. 1-7). IEEE.
- ✓ Narwane, V. S., Narkhede, B. E., Raut, R. D., Gardas, B. B., Priyadarshinee, P., & Kavre, M. S. (2019a). To identify the determinants of the CloudIoT technologies adoption in the Indian MSMEs: structural equation modelling approach. *International Journal of Business Information Systems*, 31(3), 322-353.
- ✓ Narwane, V. S., Raut, R. D., Gardas, B. B., Kavre, M. S., & Narkhede, B. E. (2019b). Factors affecting the adoption of cloud of things: The case study of Indian small and medium enterprises. *Journal of Systems and Information Technology*.
- ✓ Ndihi, E. D. N., & Cherkaoui, S. (2016). On enhancing technology coexistence in the IoT era: ZigBee and 802.11 case. *Ieee Access*, 4, 1835-1844.
- ✓ Newcomer, E. (2002). *Understanding web services: Xml, wsdl, soap, and uddi*. Addison-Wesley Professional.
- ✓ Nicolle, C. (2002). *Définition des services web*.
- ✓ Ojha, T., Misra, S., & Raghuvanshi, N. S. (2015). Wireless sensor networks for agriculture: The state-of-the-art in practice and future challenges. *Computers and electronics in agriculture*, 118, 66-84.
- ✓ OMG. (2020). *Data Distribution Service for Real-Time Systems (DDS)| Object Management Group*. (s. d.-b). <https://www.omg.org/omg-dds-portal/>
- ✓ Palathingal, P., & Chandra, S. (2004, January). Agent approach for service discovery and utilization. In *37th Annual Hawaii International Conference on System Sciences*, 2004. Proceedings of the (pp. 9-pp). IEEE.
- ✓ Paolucci, M., Srinivasan, N., Sycara, K. P., & Nishimura, T. (2003, June). Towards a Semantic Choreography of Web Services: from WSDL to DAML-S. In *ICWS* (pp. 22-26).
- ✓ Patil, A. A., Oundhakar, S. A., Sheth, A. P., & Verma, K. (2004, May). Meteor-s web service annotation framework. In *Proceedings of the 13th international conference on World Wide Web* (pp. 553-562).
- ✓ Patra, L., & Rao, U. P. (2016, March). Internet of Things-Architecture, applications, security and other major challenges. In *2016 3rd international conference on computing for sustainable global development (INDIACom)* (pp. 1201-1206). IEEE.
- ✓ Pereira, C., & Aguiar, A. (2014). Towards efficient mobile M2M communications: Survey and open challenges. *Sensors*, 14(10), 19582-19608.
- ✓ Perkins, C., & Devarapalli, V. (2018). *Standards Track MN Identifier Types for MIPv6* Internet Engineering Task Force (IETF).
- ✓ Polestar. (2019). [http:// www. Polestar.eu/fr/](http://www.Polestar.eu/fr/).
- ✓ Ponge, J. (2004). *Comptabilité et substitution dynamique des web services*. Mémoire de fin d'études, université Blaise Pascal Clermont II, juillet. Problèmes : application à la segmentation auto-organisée des images.
- ✓ Prateek Saxena. (2016). The advantages and disadvantages of Internet Of Things. e27. <https://e27.co/advantages-disadvantages-internet-things-20160615/>.

Bibliographie

- ✓ Quevedo, J., Antunes, M., Corujo, D., Gomes, D., & Aguiar, R. L. (2016). On the application of contextual IoT service discovery in Information Centric Networks. *Computer Communications*, 89, 117-127.
- ✓ Rahmani, A. M., Gia, T. N., Negash, B., Anzanpour, A., Azimi, I., Jiang, M., & Liljeberg, P. (2018). Exploiting smart e-Health gateways at the edge of healthcare Internet-of-Things: A fog computing approach. *Future Generation Computer Systems*, 78, 641-658.
- ✓ Rapti, E., Houstis, C., Houstis, E., & Karageorgos, A. (2016, June). A bio-inspired service discovery and selection approach for IoT applications. In *2016 IEEE international conference on services computing (SCC)* (pp. 868-871). IEEE.
- ✓ Ray, P. P. (2017). Internet of things for smart agriculture: Technologies, practices and future direction. *Journal of Ambient Intelligence and Smart Environments*, 9(4), 395-420.
- ✓ Ray, P. P. (2018). A survey on Internet of Things architectures. *Journal of King Saud University-Computer and Information Sciences*, 30(3), 291-319.
- ✓ Reddy, M. P. K., & Babu, M. R. (2019). Implementing self adaptiveness in whale optimization for cluster head selection in Internet of Things. *Cluster Computing*, 22, 1361-1372.
- ✓ Rey, C. (2002). Découverte dynamique de e-services. *Journées scientifiques Web sémantique*.
- ✓ RF Wireless Vendors and Resources|RFWireless World. (s.d.). (2012). <https://www.rfwireless-world.com/Advantages-and-Disadvantages-of-IoT-Internet-Of-Things.html>.
- ✓ Riesen, R., Ferreira, K., Da Silva, D., Lemarinier, P., Arnold, D., & Bridges, P. G. (2012, November). Alleviating scalability issues of checkpointing protocols. In *SC'12: Proceedings of the International Conference on High Performance Computing, Networking, Storage and Analysis* (pp. 1-11). IEEE.
- ✓ Rohallah, B., Ramdane, M., & Zaidi, S. (2013). Agents and owl-s based semantic web service discovery with user preference support. *arXiv preprint arXiv:1306.1478*.
- ✓ Roman, D., Keller, U., Lausen, H., De Bruijn, J., Lara, R., Stollberg, M., ... & Fensel, D. (2005). Web service modeling ontology. *Applied ontology*, 1(1), 77-106.
- ✓ Roopaei, M., Rad, P., & Choo, K. K. R. (2017). Cloud of things in smart agriculture: Intelligent irrigation monitoring by thermal imaging. *IEEE Cloud computing*, 4(1), 10-15.
- ✓ Saeed, K., Chaki, N., Pati, B., Bakshi, S., & Mohapatra, D. P. (Eds.). (2017). *Progress in Advanced Computing and Intelligent Engineering: Proceedings of ICACIE 2016, Volume 2 (Vol. 564)*. Springer.
- ✓ Saint-Andre, P., Smith, K., Tronçon, R., & Troncon, R. (2009). *XMPP: the definitive guide*. " O'Reilly Media, Inc."
- ✓ Salehie, M., & Tahvildari, L. (2005). Autonomic computing: emerging trends and open problems. *ACM SIGSOFT Software Engineering Notes*, 30(4), 1-7.
- ✓ Salman, T., & Jain, R. (2017). Networking protocols and standards for internet of things. *Internet of things and data analytics handbook*, 215-238.

Bibliographie

- ✓ Salman, T., & Jain, R. (2019). A survey of protocols and standards for internet of things. arXiv preprint arXiv:1903.11549.
- ✓ Sarhan, Q. I. (2018). Internet of things: a survey of challenges and issues. *International Journal of Internet of Things and Cyber-Assurance*, 1(1), 40-75.
- ✓ Sarkar, C., SN, A. U. N., Prasad, R. V., Rahim, A., Neisse, R., & Baldini, G. (2014). DIAT: A scalable distributed architecture for IoT. *IEEE Internet of Things journal*, 2(3), 230-239.
- ✓ Sasirekha, S., Swamynathan, S., & Keerthana, S. (2018). A generic context-aware service discovery architecture for IoT services. In *Smart Secure Systems-IoT and Analytics Perspective: Second International Conference on Intelligent Information Technologies. ICIIT 2017, Chennai, India, December 20-22, 2017, Proceedings 2* (pp. 273-283). Springer Singapore.
- ✓ Schumacher, M., Helin, H., & Schuldt, H. (Eds.). (2008). *CASCOM: intelligent service coordination in the semantic web*. Springer Science & Business Media.
- ✓ Seok, Y. (2018). IEEE 802.11 ah (Wi-Fi in 900 MHz license-exempt band) for IOT application. *IEEE 802.11ah (Wi-Fi in 900 MHz License-exempt Band) for IoT Application*. (2018, 14 mars). IEEE Standards University. <https://www.standardsuniversity.org/e-magazine/august-2016-volume-6/ieee-802-11ah-wi-fi-900-mhz-license-exempt-band-iot-application/>.
- ✓ Serrai, W. (2020). *Évaluation de performances de solutions pour la découverte et la composition des services web* (Doctoral dissertation, Université Paris-Est ; Université des sciences et de la technologie Houari Boumediene (Alger ; 1974-...)).
- ✓ Serugendo, G. D. M., Gleizes, M. P., & Karageorgos, A. (Eds.). (2011). *Self-organising software: From natural to artificial adaptation*. Springer Science & Business Media.
- ✓ Sethi, P., & Sarangi, S. R. (2017). *Internet of things: architectures, protocols, and applications*. Journal of Electrical and Computer Engineering, 2017.
- ✓ Shafique, K., Khawaja, B. A., Khurram, M. D., Sibtain, S. M., Siddiqui, Y., Mustaqim, M., ... & Yang, X. (2018). Energy harvesting using a low-cost rectenna for Internet of Things (IoT) applications. *IEEE access*, 6, 30932-30941.
- ✓ Sheeld. (2019). <https://1sheeld.com/mqtt-protocol/>. [Accessed 14 June 2019].
- ✓ Shen, W. M., Salemi, B., & Will, P. (2002). Hormone-inspired adaptive communication and distributed control for CONRO self-reconfigurable robots. *IEEE transactions on Robotics and Automation*, 18(5), 700-712.
- ✓ Silva, I., Leandro, R., Macedo, D., & Guedes, L. A. (2013). A dependability evaluation tool for the Internet of Things. *Computers & Electrical Engineering*, 39(7), 2005-2018.
- ✓ SOAP Tutorial. (s. d.-b). <https://www.tutorialspoint.com/soap/>. [Accessed :2019-01-30].
- ✓ SOAP Version 1.2 Part 1: Messaging Framework (Second Edition). (s. d.-b). <https://www.w3.org/TR/soap12/>.
- ✓ Sobin, C. C. (2020). A survey on architecture, protocols and challenges in IoT. *Wireless Personal Communications*, 112(3), 1383-1429.
- ✓ Solapure, S. S., & Kenchannavar, H. H. (2019). RPL and COAP protocols, experimental analysis for IOT: A case study. *International Journal of Ad hoc, Sensor & Ubiquitous Computing (IJASUC)*, 10(2).

Bibliographie

- ✓ Soni, D., & Makwana, A. (2017, April). A survey on mqtt: a protocol of internet of things (iot). In International conference on telecommunication, power analysis and computing techniques (ICTPACT-2017) (Vol. 20, pp. 173-177).
- ✓ Sornin, N., Luis, M., Eirich, T., Kramp, T., & Hersent, O. (2015). LoRa WAN Technical Specification. LoRa Alliance Version 1.0, 1-82.
- ✓ Souri, A., Asghari, P., & Rezaei, R. (2017). Software as a service based CRM providers in the cloud computing: challenges and technical issues. *Journal of Service Science Research*, 9(2), 219-237.
- ✓ Souri, A., Rahmani, A. M., & Jafari Navimipour, N. (2018). Formal verification approaches in the web service composition: a comprehensive analysis of the current challenges for future research. *International journal of communication systems*, 31(17), e3808.
- ✓ Srinivasan, N., Paolucci, M., & Sycara, K. (2005). An efficient algorithm for OWL-S based semantic search in UDDI. In *Semantic Web Services and Web Process Composition: First International Workshop, SWSWPC 2004, San Diego, CA, USA, July 6, 2004, Revised Selected Papers 1* (pp. 96-110). Springer Berlin Heidelberg.
- ✓ Statista. (2022, 27 juillet). Internet of Things - number of connected devices worldwide 2015-2025. <https://www.statista.com/statistics/471264/iot-number-of-connected-devices-worldwide/>. [Accessed September 2020].
- ✓ Stergiou, C. L., Plageras, A. P., Psannis, K. E., & Gupta, B. B. (2020). Secure machine learning scenario from big data in cloud computing via internet of things network. *Handbook of Computer Networks and Cyber Security: Principles and Paradigms*, 525-554.
- ✓ Steve. (2019). <http://www.steves-internet-guide.com/mqtt-protocol-messages-overview/>. [Accessed 15 June 2019].
- ✓ Stojkoska, B. L. R., & Trivodaliev, K. V. (2017). A review of Internet of Things for smart home: Challenges and solutions. *Journal of cleaner production*, 140, 1454-1464.
- ✓ Stollberg, M., Keller, U., Lausen, H., & Heymans, S. (2007). Two-phase web service discovery based on rich functional descriptions. In *The Semantic Web: Research and Applications: 4th European Semantic Web Conference, ESWC 2007, Innsbruck, Austria, June 3-7, 2007. Proceedings 4* (pp. 99-113). Springer Berlin Heidelberg.
- ✓ Streetline. Home. (2019, 27 juin). Streetline. <https://www.streetline.com/>
- ✓ Sudarshan, A., Dirisam, S., Shetty, J., & NS, G. R. S. (2019). Review of protocols used in enterprise networks. *Int. J. Eng. Res. Technol*, 8, 53-56.
- ✓ T. S. Portal. (2017). Internet of things (iot) connected devices installed base worldwide from 2015 to 2025 (in billions). <https://www.statista.com/statistics/471264/iot-number-of-connected-devices-worldwide>.
- ✓ Tamboli, A. (2022). What we built and the takeaways. In *Build Your Own IoT Platform* (pp. 201-209). Apress, Berkeley, CA.
- ✓ Thangavel, D., Ma, X., Valera, A., Tan, H. X., & Tan, C. K. Y. (2014, April). Performance evaluation of MQTT and CoAP via a common middleware. In *2014 IEEE ninth international conference on intelligent sensors, sensor networks and information processing (ISSNIP)* (pp. 1-6). IEEE.

Bibliographie

- ✓ Thota, P., & Kim, Y. (2016, December). Implementation and comparison of M2M protocols for Internet of Things. In 2016 4th Intl Conf on Applied Computing and Information Technology/3rd Intl Conf on Computational Science/Intelligence and Applied Informatics/1st Intl Conf on Big Data, Cloud Computing, Data Science & Engineering (ACIT-CSII-BCD) (pp. 43-48). IEEE.
- ✓ Tiburski, R. T., Moratelli, C. R., Johann, S. F., Neves, M. V., de Matos, E., Amaral, L. A., & Hessel, F. (2019). Lightweight security architecture based on embedded virtualization and trust mechanisms for IoT edge devices. *IEEE Communications Magazine*, 57(2), 67-73.
- ✓ Toma, I., Iqbal, K., Moran, M., Roman, D., Strang, T., & Fensel, D. (2005). An evaluation of discovery approaches in Grid and Web services environments. *NODE 2005-GSEM 2005*.
- ✓ Uddin, M., Shanta, A. S., Majumder, M. B., Hasan, M. S., & Rose, G. S. (2019, January). Memristor crossbar PUF based lightweight hardware security for IoT. In 2019 IEEE International Conference on Consumer Electronics (ICCE) (pp. 1-4). IEEE.
- ✓ Vashi, S., Ram, J., Modi, J., Verma, S., & Prakash, C. (2017, February). Internet of Things (IoT): A vision, architectural elements, and security issues. In 2017 international conference on I-SMAC (IoT in Social, Mobile, Analytics and Cloud) (I-SMAC) (pp. 492-496). IEEE.
- ✓ Vermesan, O., & Friess, P. (Eds.). (2014). *Internet of things-from research and innovation to market deployment (Vol. 29)*. Aalborg: River publishers.
- ✓ Web Services Architecture. (s. d.). <https://www.w3.org/TR/ws-arch/>.
- ✓ Web Services Description Language (WSDL) 1.1. <https://www.w3.org/TR/2001/NOTE-wsdl-20010315>.
- ✓ Web Services Description Language (WSDL) Version 2.0 Part 1: Core Language. (s. d.). <https://www.w3.org/TR/2003/WD-wsdl20-20031110/>.
- ✓ Wei, Q., & Jin, Z. (2012, October). Service discovery for internet of things: a context-awareness perspective. In *Proceedings of the fourth Asia-Pacific symposium on internetware* (pp. 1-6).
- ✓ Wilson, E. O. (2000). *Sociobiology: The new synthesis*. Harvard University Press.
- ✓ Xia, H., Hu, C. Q., Xiao, F., Cheng, X. G., & Pan, Z. K. (2019). An efficient social-like semantic-aware service discovery mechanism for large-scale Internet of Things. *Computer Networks*, 152, 210-220.
- ✓ XMPP | Specifications. (s. d.). (2019). <https://xmpp.org/extensions/index.html>. [Accessed 22 June 2019].
- ✓ Y. BELAID. (2009). *SERVICE WEB - SOAP*, Centre d'enseignements de Grenoble.
- ✓ Yassein, M. B., & Shatnawi, M. Q. (2016, September). Application layer protocols for the Internet of Things: A survey. In 2016 International Conference on Engineering & MIS (ICEMIS) (pp. 1-4). IEEE.
- ✓ Yi, D., & Yang, H. (2016). HEER-A delay-aware and energy-efficient routing protocol for wireless sensor networks. *Computer Networks*, 104, 155-173.
- ✓ Yu, M., Yue, G., Song, J., & Pang, X. (2019). Research on intelligent city energy management based on Internet of things. *Cluster Computing*, 22, 8291-8300.

Bibliographie

- ✓ Zafari, F., Papapanagiotou, I., & Christidis, K. (2015). Microlocation for internet-of-things-equipped smart buildings. *IEEE Internet of Things Journal*, 3(1), 96-112.
- ✓ Zeinab, K. A. M., & Elmustafa, S. A. A. (2017). Internet of things applications, challenges and related future technologies. *World Scientific News*, 67(2), 126-148.
- ✓ Zhao, M., Kumar, A., Ristaniemi, T., & Chong, P. H. J. (2017). Machine-to-machine communication and research challenges: A survey. *Wireless Personal Communications*, 97(3), 3569-3585.
- ✓ Zhou, M., & Ma, Y. (2012, October). A web service discovery computational method for IOT system. In *2012 IEEE 2nd International Conference on Cloud Computing and Intelligence Systems (Vol. 3, pp. 1009-1012)*. IEEE.
- ✓ Zhou, S., Lin, K. J., Na, J., Chuang, C. C., & Shih, C. S. (2015, October). Supporting service adaptation in fault tolerant internet of things. In *2015 IEEE 8th International conference on service-oriented computing and applications (SOCA)* (pp. 65-72). IEEE.
- ✓ Ziani, S. (2015). *La Découverte de services web à base De Dominance Probabiliste* (Doctoral dissertation).
- ✓ Zigbee. (2019). <https://www.zigbee.org/zigbee-for-developers/zigbee-3-0/>. [Accessed 9 July 2019].
- ✓ z-wavealliance. (s.d). *Z-Wave Plus™ Certification*. (2019). https://z-wavealliance.org/z-wave_plus_certification.
- ✓ Z-Wave. Wikipedia. (2022). <https://en.wikipedia.org/wiki/Z-Wave>.