

جامعة وهران 2 محمد بن أحمد
Université d'Oran 2 Mohamed Ben Ahmed

معهد الصيانة والأمن الصناعي
Institut de Maintenance et de Sécurité Industrielle

Département de Maintenance en Instrumentation

MÉMOIRE

Pour l'obtention du diplôme de Master

Filière : Génie Industriel

Spécialité : Maintenance des automates et de l'instrumentation industriels

Thème

**Optimisation énergétique intelligente
pour l'internet des objets massifs
utilisant l'intelligence Artificielle**

Présenté et soutenu publiquement par :

Nom : ZITOUNI

Prénom : Kheireddine

Devant le jury compose de :

Nom et Prénom	Grade	Etablissement	Qualité
.....	IMSI-Univ. D'Oran2	Président
M ^{me} TALHI M	MCA	IMSI-Univ. D'Oran2	Encadreur
.....	IMSI-Univ. D'Oran2	Examineur

Année 2020/2021

Remerciements

Nous remercions le bon Dieu, tout puissant, de nous avoir donné la force pour suivre, ainsi que l'audace pour dépasser toutes les difficultés.

Nous souhaitons adresser nos remerciements les plus sincères aux personnes qui nous ont contribué à l'élaboration de ce mémoire ainsi qu'à la réussite de cette formidable année universitaire

DR Jalhi Mama qui a toujours m'adresse à l'écoute et très disponible tout au long de la réalisation de ce mémoire

Les jurys pour leur efforts et leur soin apporté à notre travail

Aux enseignants de notre universitaire et, département de Maintenance en Instrumentation.

Enfin , nous adresse nos proches et ainsi, qui nous ont toujours soutenue et encouragé au cours de la réalisation de ce mémoire

Merci à tous et à toutes

Dédicace

Respect et amour je dédie ce travail A mes chers parents : pour toutes les efforts consentis pour m'assurer Une bonne éducation. A mes sœurs pour tout leur soutien et moral et leur amour et affection. A toutes mes amis notamment : Hamza, Roufaïda , Olyes , Oussama , et tous mes collègues de l'étude . En souvenir des plus beaux instants qu'on a passé ensemble. et tous les amis aussi bien à tous qui m'on aidé.

.....

.....

.....*Zitouni*

Kheireddine

Résumé

Au cours de cette décennie, le concept de connexion du monde à l'aide de l'Internet des objets (IOT) a progressé. Un matériel efficace et des réseaux à haut débit permettent de connecter des milliards d'appareils et de collecter et transmettre des informations utilisables. L'avantage des appareils IOT est qu'ils peuvent être automatisés, mais il faut beaucoup d'énergie pour que de milliards d'appareils connectés communiquent entre eux. Si elle n'est pas gérée, cette demande énergétique peut être l'un des obstacles à la mise en œuvre complète des systèmes IOT. Cet article présente un système de gestion de l'énergie pour les appareils IOT. Considérez les aspects matériels et logiciels. La transparence énergétique a été obtenue en modélisant l'énergie consommée lors de la détection, du traitement et de la communication. Un système multi-agents est introduit pour simuler les appareils IOT et leur consommation d'énergie. L'algorithme génétique est utilisé pour optimiser les paramètres des systèmes multi-agents. Enfin, utilisez MATLAB Simulink, OpenModelica et d'autres outils de simulation pour tester le système. Les résultats d'optimisation montrent qu'avec la mise en œuvre de l'intelligence décentralisée du système multi-agents, la consommation d'énergie est très importante.

Mots-clés :

Internet des objets, intelligence artificielle , conservation de l'énergie.

Systèmes multi-agents, MATLAB ,5G, IOT massif.

Abstract

In this decade, the concept of connecting the world using the Internet of Things (IOT) has advanced. Efficient hardware and high-speed networks allow billions of devices to be connected and usable information to be collected and transmitted. The advantage of IOT devices is that they can be automated, but it takes a lot of energy to get billions of connected devices to communicate with each other. If left unmanaged, this energy demand can be one of the barriers to full implementation of IOT systems. This article presents an energy management system for IOT devices. Consider the hardware and software aspects. Energy transparency was achieved by modeling the energy consumed during sensing, processing, and communication. A multi-agent system is introduced to simulate IOT devices and their energy consumption. Genetic algorithm is used to optimize the parameters of the multi-agent systems. Finally, use MATLAB Simulink, OpenModelica and other simulation tools to test the system. The optimization results show that with the implementation of the decentralized intelligence of the multi-agent system, the energy consumption is very significant.

Keywords:

Internet of things, Artificial intelligence, Energy conservation

Multi-agent systems, MATLAB ,5G,Massive IOT

Table des matières

<i>Introduction générale</i>	08
------------------------------------	-----------

Chapitre 1

1. Concept de base	10
1.1 Introduction	11
1.2 Internet des objets	11
1.2.1 Définition	11
1.2.2 Histoire Internet des objets	12
1.2.3 Fonctionnement	13
1.2.4 Relation entre IdO et IA	14
1.3 l'Intelligence Artificielle (IA)	15
1.3.1 Qu'est-ce que l'Intelligence Artificielle (IA) ?.....	15
1.3.2 L'intelligence augmentée pour le grand public	16
1.3.3 Types d'intelligence artificielle	17
1.3.4 Exemples de technologie d'IA	18
1.3.4.1 L'automatisation	18
1.3.4.2 Le machine Learning	18
1.3.4.3 La vision par ordinateur	18
1.3.4.4 Le NLP (Naturaprocessing).....	18
1.3.4.5 La robotique	19
1.3.4.6 Les voitures autonomes	19
1.3.5 Préoccupations en matière de sécurité et d'éthique	19
1.4 La cinquième génération (5G)	21
1.4.1 Définition	21
1.4.2 Architecture 5G	21
1.5 Méthodologie de conception capteur communicant	22
1.6 Conclusion	22

Chapitre 2

2. La virtualisation dans les réseaux	23
2.1 Introduction	24
2.2 Définition de la virtualisation	24
2.2.1 Le rôle de la couche de virtualisation (hyperviseur)	26
2.2.2 Type d'hyperviseur	26
2.2.3 Avantages de la virtualisation	27
2.3 Les réseaux logiciels	29
2.3.1 Equipements virtuels	30
2.4 Le Cloud	31
2.4.1 Catégories de Cloud	32

2.5 Le SDN (Software-Defined Networking)	34
2.5.1 Objectif du SDN	35
2.5.2 Architecture du SDN	35
2.5.3 Architecture ONF (Open Network Foundation)	36
2.6 La virtualisation des fonctions réseaux NFV	40
2.6.1 Architecture fonctionnelle du NFV	40
2.6.2 Eléments de l'architecture NFV	42
2.6.2.1 NFV Infrastructure (NFVI).....	42
2.6.2.2 Virtualized Network Functions (VNF	43
2.6.2.3 Elément management system (EMS).....	43
2.6.2.4 Management and Network Orchestration (MANO)	44
2.6.2.1 Virtualized Infrastructure Manager (VIM)	44
2.6.2.2 VNF Manager (VNFM).....	44
2.6.2.3 L'orchestrateur	44
2.6.2.4 La couches OSS (Operations Support System)/BSS	44
2.6.2.5 SDN et NFV	45
2.6.3 LE vEPC (virtual Evolved Packet Core)	45
2.7 LE vEPC (virtual Evolved Packet Core)	45
2.7.1 Définition du vEPC	45
2.7.2 Le passage de l'EPC vers le vEPC	46
2.7.3 Les avantages du déploiement d'un vEPC	47
2.7.4 Le vEPC et l'IoT	47
2.7.5 Le vEPC et autres applications	47
2.7.6 Challenges de mise en œuv	48
2.8 Description des paramètres de trafic du vE	48
2.8.1 Ps subscribers	48
2.8.2 Simultaneously Attached Users (SAU)	48
2.8.3 IP sessions	48
2.8.4 KPPS	49
2.9 Conclusion	50

Chapitre 3

3. l'optimisation énergétique intelligente	50
3.1 Introduction	51
3.2 Travaux antérieurs dans le domaine de l'optimisation énergétique	51
3.2.1 Aspects matériels de la gestion de l'énergie de l'IOT	52
3.2.2 Facettes logicielles de la gestion de l'énergie IoT	55
3.3 La transparence énergétique dans les dispositifs IoT	57
3.3.1 Consommation d'énergie et limitations	57
3.3.2 Modélisation de la consommation d'énergie des capteurs	59
3.3.3 Modélisation de la consommation d'énergie des communications	60
3.3.4 Modélisation de la consommation d'énergie de traitement	61

3.4 Gestion de l'énergie basée sur l'IA	63
3.5 Résultats de la simulation	70
Conclusion générale	75
Bibliographies	76

Tale des figures:

Figure 1. Elements of an IoT system	08
Figure 1.1 Les domaines d'Internet des Objets	10
Figure 1.3 Architecture 5G..IoT	10
Figure 1.3 Conception de capteurs sans fil pour les applications IoT	12
Figure 2.1 Concept de la virtualisation	24
Figure 2.2 La Paravirtualisation	26
Figure 2.3 Virtualisation par émulation	27
Figure 2.4 Virtualisation par zone d'exécution	28
Figure 2.5 Réseaux logiciels sur un seul réseau physique	29
Figure 2.6 Le Cloud	32
Figure 2.7 Les trois principales catégories de Cloud	33
Figure 2.8 Les différents types de Clouds	34
Figure 2.9 Environnement complet d'un système d'information et d'opération	36
Figure 2.10 Architecture de l'ONF	37
Figure 2.11 Architecture SDN	38
Figure 2.12 Architecture fonctionnelle du NFV	41
Figure 2.13 Les éléments constituant l'architecture NFV	42
Figure 2.14 Architecture vEPC	46
Figure 3.1 Répartition temporelle de la consommation d'énergie d'un dispositif IoT	61
Figure 3.2 Consommation d'énergie LoRa par pas de temps	62
Figure 3.3 Consommation d'énergie de SIGFOX en temps réel	63
Figure 3.4 Schéma fonctionnel de l'agent intelligent pour la conservation de l'énergie de l'IdO	64
Figure 3.5 Fonction d'appartenance des entrées et des sorties du contrôleur flou	65
Figure 3.6 Résultats du modèle d'IA distribuée multi-agents pour la consommation d'énergie	67
Figure 3.7 fuzzy conception	68
Figure 3.8 Fonction d'appartenance des entrées et des sorties du contrôleur flou	69
Figure 3.9 Optimisation du temps dans les 4 modes	70
Figure 3.10 efficacité de fonctionnement de l'appareil	71
Figure 3.11 Consommation d'énergie IOT EN 4 mode	71

Introduction Générale

Le nombre de dispositifs de l'Internet des objets (mIoT) prévu dans un avenir proche est estimé à plusieurs milliards et ne cesse d'augmenter. Ces appareils resteront connectés aux réseaux extrêmement fiables et à faible latence tout en transmettant continuellement les données pendant toute la durée de leur fonctionnement. Puisque la capacité d'accueillir les dispositifs IoT au sein du réseau est augmentée avec l'introduction de la 5G et de technologies similaires, la complexité de la gestion des données et l'optimisation de l'énergie pour les dispositifs IoT deviennent une tâche difficile pour les chercheurs. Le travail collaboratif des dispositifs IoT sous la forme de l'essaim est nécessaire pour la mise en œuvre réussie de services IoT ainsi que pour le développement de protocoles de gestion de l'énergie. La mise en œuvre de l'IdO dans les environnements du monde réel avec des interconnexions intelligentes



Figure. 1. Elements of an IoT system.

omniprésentes et en direct est toujours limitée par des contraintes telles que la durée de vie de la batterie des appareils, la capacité du network et le coût de leur maintenance. L'alimentation de milliards de ces dispositifs interconnectés reste l'un des plus grands défis de l'IdO aujourd'hui. Les défis auxquels l'IdO est confronté aujourd'hui. La fonctionnalité essentielle des dispositifs IoT consiste à collecter et à partager de manière fiable les données perçues avec le monde physique. Le site élément matériel du dispositif IoT est constitué d'un capteur alimenté par batterie, d'un actionneur et d'un système de communication. La fonction d'un capteur est de collecter les données de son environnement désigné. Ces données peuvent être des débits, des températures, pressions, mouvements physiques, distance, masse, etc. Les données collectées sont ensuite traitées sur le dispositif afin d'être envoyées à des serveurs distants via le réseau de communication. Les principaux éléments du système IoT sont présentés à la figure 1. Les capteurs sont les dispositifs IoT qui acquièrent les

données, les traitent et les communiquent à leur destination. Ainsi, les capteurs sont les gros consommateurs d'énergie d'un système IoT. La durée de vie limitée de la batterie de ces dispositifs est un obstacle majeur à la mise en œuvre complémentation de l'IdO. La collecte et le traitement d'une grande quantité de données ne sont possibles qu'au prix d'une consommation d'énergie plus élevée. Compte tenu de la durée de vie limitée des batteries, la quantité et la précision des données sont simplement un compromis. Les batteries des dispositifs IoT peuvent avoir besoin d'être rechargées par intermittence et fréquemment pour assurer la fiabilité et le bon fonctionnement, ce qui constitue un obstacle majeur pour des milliards de dispositifs interconnectés. tâche difficile pour des milliards de dispositifs interconnectés

Le projet vise à être lié à la nouvelle méthode Optimisation énergétique pour l'IoT et l'intelligence artificielle

chapitre 01, nous passerons brièvement en revue les différents types et L'IA et sa relation avec la 5G, présentent alors la perspective de la cinquième génération.

Chapitre 02, nous introduirons la virtualisation du réseau. Alors allons-y Une étude détaillée du cœur de réseau EPC du réseau mobile 5G et des différents Éléments.

chapitre 3, nous présenterons une nouvelle technologie Utilisée pour l'optimisation énergétique intelligente à l'aide de la simulation matlab.

CHAPITRE 1

CONCEPT DE BASE

1.1 Introduction

L'Internet des objets (Internet of Things) est né de l'idée de connecter des capteurs à Internet. Ces capteurs peuvent être trouvés dans le monde physique, en particulier dans les maisons, les lieux de travail, les villes ou n'importe où ailleurs.

Dans ce chapitre, nous allons introduire le concept d'Internet des Objets (IoT), et nous verrons les différents éléments et étapes qui nous permettent de construire un système IoT, et sa relation avec l'intelligence artificielle. Nous étudierons également l'architecture du cœur de réseau 5G, les étapes et les outils nécessaires aux objets de l'Internet des Objets pour se connecter à Internet ou à d'autres objets pour communiquer et échanger des informations.

1.2 Internet des objets

1.2.1 Définition

L'Internet des objets (IdO) est ” un réseau qui relie et combine les objets avec l' Internet, en suivant les protocoles qui assurent leurs communication et échange d' informations à travers une variété de dispositifs ”[1].

L'IdO peut se définir aussi comme étant ” un réseau de réseaux qui permet, via des systèmes d'identification électroniques normalisés et unifiés, et des dispositifs mobiles sans fil, d'identifier directement et sans ambiguïté des entités numériques et des objets physiques et ainsi, de pouvoir récupérer, stocker, transférer et traiter les données sans discontinuité entre les mondes physiques et virtuels ”[2].

Il existe plusieurs définitions sur le concept de l'IdO, mais la définition la plus pertinente à notre travail de recherche est celle proposée par Weill et Souissi qui ont défini l'IdO comme ” une extension de l'Internet actuel envers tout objet pouvant communiquer de manière directe ou indirecte avec des équipements électroniques eux -même connectés à l'Internet. Cette nouvelle dimension de l'Internet s'accompagne avec de forts enjeux technologiques, économiques et sociaux, notamment avec les économies majeures qui pourraient être réalisées par l'ajout de technologies qui favorisent la standardisation de ce nouveau domaine,

surtout en matière de communication, tout en assurant la protection des droits et des libertés individuelles ” [3].

1.2.2. Histoire Internet des objets

L'Internet des objets (IoT) n'existe pas depuis longtemps. Cependant, depuis le début des années 1800, il y a eu une vision de la communication mutuelle entre les machines. Depuis que le télégraphe (la première ligne fixe) a été développé dans les années 1830 et 1840, la machine a fourni une communication directe appelée «télégraphe sans fil». Le développement des ordinateurs a commencé dans les années 1950.

L'Internet lui-même est une partie importante de l'Internet des objets. Il a commencé en 1962 dans le cadre de la Defense Advanced Research Projects Agency (DARPA) et est devenu ARPANET en 1969. Dans les années 1980, les fournisseurs de services commerciaux ont commencé à aider le public à utiliser ARPANET. Évoluez dans notre Internet moderne.

Les satellites de positionnement mondial (GPS) sont devenus une réalité au début de 1993, le ministère de la Défense fournissant un système stable et hautement fonctionnel de 24 satellites. Cela a été rapidement suivi par la mise en orbite de satellites commerciaux privés. Les satellites et les lignes fixes fournissent des communications de base pour une grande partie de l'IdO.

Un élément supplémentaire et important dans le développement d'un IdO fonctionnel était la décision remarquablement intelligente d'IPv6 d'augmenter l'espace d'adressage. Steve Leibson, du Computer History Museum, déclare: ” L'expansion de l'espace d'adressage signifie que nous pourrions assigner une adresse IPv6 à chaque atome sur la surface de la Terre, et avoir encore assez d'adresses pour faire une autre centaine de terres. De cette façon, nous n'allons pas manquer d'adresses Internet de sitôt ”.

L'Internet des objets, en tant que concept, n'a été officiellement nommé qu'en 1999. L'un des premiers exemples d'Internet des objets date du début des années 1980 et était une machine à Coca-Cola, située à l'Université Carnegie Mellon. Les programmeurs locaux se connecteraient par Internet à l'appareil réfrigéré et vérifieraient s'il y avait une boisson disponible, et s'il faisait froid, avant de faire le voyage.

En 2013, l'Internet des Objets est devenu un système utilisant de multiples technologies, allant de l'Internet à la communication sans fil et des systèmes micro- électromécaniques (MEMS) aux systèmes embarqués. Les domaines traditionnels de l'automatisation (y compris l'automatisation des bâtiments et des maisons), les réseaux de capteurs sans fil, le GPS, les systèmes de contrôle et autres, soutiennent tous l'IdO [4].

1.2.3 Fonctionnement

L'Internet des objets (IdO) permet l'interconnexion des différents objets intelligents via l'Internet. Ainsi, pour son fonctionnement, plusieurs systèmes technologiques sont nécessaires. Citons quelques exemples de ces technologies. ”

L'IdO désigne diverses solutions techniques (RFID, TCP/IP, technologies mobiles, etc .) qui permettent d'identifier des objets, de capter, stocker, traiter, et transférer des données dans les environnements physiques, mais aussi entre des contextes physiques et des univers virtuels ” [2].

En effet, bien qu'il existe plusieurs technologies utilisées dans le fonctionnement de l'IdO, nous mettons l'accent seulement sur quelques-unes qui sont, selon Han et Zhanghang, les technologies clés de l'IdO. Ces technologies sont les suivantes : RFID, WSN et M2M, et sont définies ci-dessous.

RFID (Radio Frequency Identification) : le terme RFID englobe toutes les technologies qui utilisent les ondes radio pour identifier automatiquement des objets ou des personnes. C'est une technologie qui permet de mémoriser et de récupérer des informations à distance grâce à une étiquette qui émet des ondes radio [5].

Il s'agit d'une méthode utilisée pour transférer les données des étiquettes à des objets, ou pour identifier les objets à distance. L'étiquette contient des informations stockées électroniquement pouvant être lues à distance [1].

Le cloud computing est un modèle qui prend en charge un accès omniprésent, pratique et à la demande aux réseaux partagés et à un ensemble de ressources informatiques configurables (telles que les réseaux, les serveurs, le stockage, les applications et les services). la configuration et la libération.

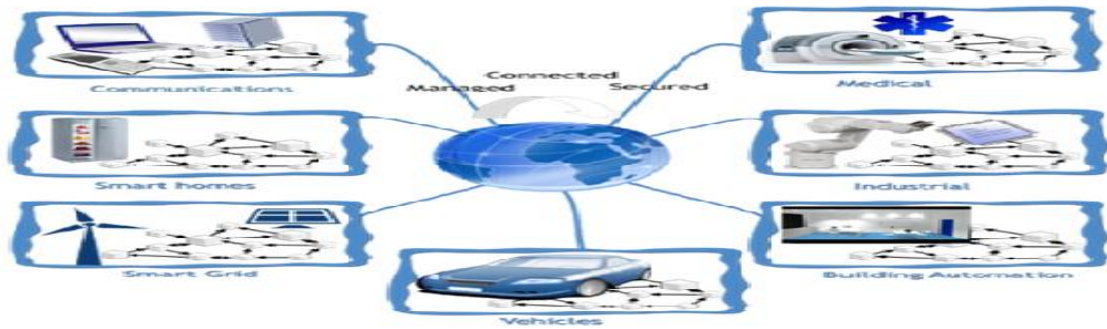


Figure 1.1: Les domaines d'Internet des Objets[03]

Nous pouvons affirmer que l'Internet peut être connecté à n'importe quel objet. Ainsi, les domaines d'applications de l'IdO sont multiples. On cite, à titre d'exemples' industrie, la santé, l'éducation et la recherche. Cependant, il sera possible dans le futur de trouver le concept de l'IdO n'importe où, n'importe quand et à la disposition de tout le monde. Pessemier a argumenté que " L'IdO consiste en un monde de données (énormes), qui, si elles sont exploitées correctement, contribueront à répondre aux problèmes d'aujourd'hui, notamment dans les domaines suivants : aérospatial, aviation , automobile, télécommunications, construction, médical, autonomie des personnes handicapées, pharmaceutiques, logistiques, gestion des chaines d' approvisionnements, fabrication et gestion du cycle de vie des produits, sécurité, sureté , surveillance de l' environnement, traçabilité alimentaire, agriculture et élevage "[5].

1.2.4 Relation entre IdO et IA

Parmi les avancées technologiques qui fascinent, l'Intelligence Artificielle (IA) et l' Internet des Objets (IdO) tiennent le devant de la scène .

Cet engouement témoigne d 'une transformation inédite dans notre histoire, faisant s'allier durablement l'homme et la machine.

L'alliance de ces deux technologies offre de nombreuses promesses de Progress économiques et sociaux, touchant des secteurs clés comme la santé, l' éducation , l'énergie.

L'Intelligence Artificielle renforce la productivité et redistribue les cartes en matière de compétences requises.

L'analyse des très nombreux capteurs présent sur les objets connectés décuplent l'efficacité, la fiabilité et la réactivité des entreprises. Elles transforment ainsi le lien qu'elles entretiennent avec leurs consommateurs et par effet de ricochet leur culture.

A ce titre, le concept de jumeau numérique offre de nouvelles opportunités pour mieux contrôler le cycle de vie des produits, révolutionner la notion de maintenance prédictive ou la conception de solutions innovantes. Autant d'innovations au service de l'humain, s'il est placé au cœur de cette interaction.

De nombreux défis accompagnent le développement de ces deux technologies. A la question de la cyber sécurité et de la gestion d'un volume sans cesse plus imposant de données, s'ajoute la complexité de l'évolution des solutions imaginées [6].

1.3 L'Intelligence Artificielle (IA)

1.3.1 Qu'est-ce que l'Intelligence Artificielle (IA) ?

L'intelligence artificielle (IA) est le processus de simulation de l'intelligence humaine des manières suivant . Plus précisément, les systèmes informatiques. Ces processus Il se compose de trois étapes. tout d'abord, apprenez, c'est-à-dire obtenez L'information et ses règles d'utilisation. Ensuite, le raisonnement, ou l'utilisation de règles Tirez des conclusions approximatives ou définitives. enfin, l'autocorrection. Cette Les applications spécifiques de l'intelligence artificielle incluent l'intelligence artificielle étroite, la reconnaissance faciale et Vision par ordinateur. L'intelligence artificielle peut être classée comme faible ou forte. Intelligence artificielle faible ou intelligence artificielle Au sens strict, il s'agit d'un système d'intelligence artificielle conçu et entraîné pour la tâche spécifique. Par conséquent, les assistants personnels virtuels, tels que Siri d'Apple, sont un Intelligence artificielle faible. Quant à l'intelligence artificielle forte, ou intelligence artificielle générale, elle a Capacité cognitive humaine. Face à une tâche inconnue, Les systèmes d'IA peuvent trouver une solution, sans intervention humaine.

Coûts du matériel, des logiciels et du personnel de l'intelligence artificielle Il peut être très élevé. Tant de fournisseurs incluent des composants d'IA Dans leurs produits standards et à AIaaS (artificiel Intelligence as a service, pour l'intelligence artificielle as a service). Infrastructure en tant que Service Permettre aux particuliers et aux entreprises d'expérimenter l'intelligence artificielle et Testez plusieurs plates-formes avant de soumettre. Les offres les plus populaires

sont de L'intelligence artificielle du cloud computing comprend les services d'Amazon AI et d'IBM Watson Assistant, Microsoft Cognitive Services et Google Artificial Intelligence Services.

1.3.2 L'intelligence augmentée pour le grand public

Les outils d'intelligence artificielle introduisent une série de nouvelles fonctionnalités Pour la compagnie. Cependant, l'utilisation de l'intelligence artificielle soulève des questions éthiques. exister En fait, l'algorithme d'apprentissage profond ou l'apprentissage profond est une bonne base La plupart des outils d'intelligence artificielle les plus avancés. Cependant, leur intelligence dépend de Données qui leur sont fournies pendant la formation. Comme les humains choisissent les données Pour la formation des programmes d'intelligence artificielle, le risque de biais humain est Inhérent et doit être étroitement surveillé. Certains experts de l'industrie pensent que Le terme « intelligence artificielle » est trop étroitement lié à la culture populaire. donc Le public a des craintes irréalistes au sujet de l'intelligence artificielle. Mais il y a des attentes Il est peu probable qu'il sache comment cela changera le lieu de travail et la vie. Par conséquent, les chercheurs et les spécialistes du marketing veulent le label « smart Augmenter ",qui a une connotation plus neutre, aidera les gens à comprendre que l'intelligence artificielle améliorera simplement les produits et les services. Mais surtout qu'elle ne remplacera pas les humains qui les utilisent.

1.3.3 Types d'intelligence artificielle

Selon Arend Hintze, professeur adjoint de biologie intégrative, d'informatique et d'ingénierie à los Angeles Michigan State University , il y a quatre genres d'intelligences artificielles, dont certaines n'existent pas encore. Tout d'abord, les « machines réactives ». Il s'agit par exemple de Deep Blue, le programme d'échecs de IBM qui a battu Garry Kasparov dans les années 1990. Deep Blue peut identifier les pièces sur l'échiquier et faire des prédictions.

Toutefois, il n'a pas de mémoire, si bien qu'il n'apprend pas de ses expériences passées. Il ne fait qu'analyser les mouvements possibles et choisir le plus stratégique. Ainsi, Deep Blue ne peut pas être appliqué à d'autres situations. Puis, il y a les « mémoire limitée ». C'est

systèmes d'IA peuvent utiliser les expériences passées pour éclairer les décisions futures. Certaines fonctions de prise de décision des voitures autonomes sont conçues ainsi. Néanmoins, ces observations ne sont pas conservées indéfiniment.

Ensuite vient los Angeles « théorie de l'esprit », un genre d'IA qui n'existe pas encore. Ce terme de psychologie fait référence à los Angeles compréhension des croyances, désirs et intentions des autres, qui influencent leurs décisions. Enfin, los Angeles dernière catégorie concerne los angeles « judgment of right and wrong de soi », qui n'existe pas encore. C'est-à-dire des intelligences artificielles dotées d'un sens de soi et d'une jugement of right and wrong. Ainsi, elles seraient capables de comprendre leur état actuel, mais aussi déduire ce que ressentent les autres.

1.3.4 .Exemples de technologie d'IA

L'intelligence artificielle est intégrée à différents types de technologies, dont voici six exemples.

- **1..3.4.1. L'automatisation**

C'est ce qui fait qu'un système ou un processus fonctionne automatiquement. Par exemple, le RPA (Robotic Process Automation, pour automatisation robotique des procédés) peut être programmée pour exécuter des tâches répétitives plus rapidement

- **1.3.4.2. Le machine Learning**

L'apprentissage system est une technologie qui consiste à faire en sorte qu'un ordinateur agisse sans le programmer. Le Deep Learning en est un sous-ensemble, qui peut être considéré comme l'automatisation de l'examine prédictive. Il en existe trois sorts différents. Tout d'abord, l'apprentissage supervisé,, où les ensembles Page 07 de données sont étiquetés pour que des modèles soient détectés puis réutilisés. Puis, l'apprentissage non supervisé, où les ensembles de données ne sont pas étiquetés, mais sont triés en fonction des similarités ou des différences. Et enfin, l'apprentissage renforcé, où les ensembles de données ne sont pas étiquetés, mais l'IA reçoit une remarque de rétroaction après avoir agit .

- **1.3.4.3. La vision par ordinateur**

Il s'agit d'une technologie qui seize et examine l'records visuelle à l'aide d'une caméra. On l'utilise dans l'identité de signature ou encore l'examine de photographes médicales.

- **1.3.4.4. Le NLP (Natural language processing)**

Le traitement du langage naturel est le traitement du langage humain par un programme. La détection de un solicated mail en est un vieil exemple. Toutefois, les approches actuelles sont basées sur le system gaining knowledge of. Elles comprennent donc los angeles traduction de texte, l'examine des sentiments et los angeles reconnaissance vocale.

- **1.3.4.5. La robotique**

Il s'agit de los Angeles concept et los Angeles fabrication de robots. Ils sont ensuite utilisés dans les chaînes de montage pour los Angeles manufacturing automobile, ou encore par los Angeles NASA afin de déplacer de gros objets dans l'espace. Les chercheurs tentent désormais d'intégrer le system gaining knowledge of pour construire des robots qui peuvent interagir dans des contextes sociaux

- **1.3.4.6. Les voitures autonomes**

Ces véhicules combinent los Angeles imaginative and prescient par ordinateur, los Angeles reconnaissance de photographe et le deep gaining knowledge of. Ainsi, l'intelligence artificielle développe une habileté automatisée à piloter un véhicule. Et ce, tout en restant dans une voie donnée et en évitant les limites imprévus, tels que les piétons. des autres, qui influencent leurs décisions. Enfin, los Angeles dernière catégorie concerne los Angeles « moral sense de soi », qui n'existe pas encore. C'est-à-dire des intelligences artificielles dotées d'un sens de soi et d'une moral sense. Ainsi, elles seraient capables de comprendre leur état actuel, mais aussi déduire ce que ressentent les autres.

1.3.5 .Applications de l'IA L'intelligence artificielle

A été couronné de succès dans de nombreux domaines. Nous pouvons citer spécifiquement sain. Par conséquent, l'apprentissage automatique est utilisé pour obtenir une meilleure Diagnostiquer, plus rapidement. L'une des technologies les plus connues est

IBM Watson. il Comprendre le langage naturel et être capable de répondre aux questions Demandé. Il utilise les données des patients et d'autres sources de données Peut formuler une hypothèse, puis il utilise un graphique pour montrer Cote de confiance.

1.3.6 Préoccupations en matière de sécurité et d'éthique

Le concept de voiture autonome soulève des questions de sécurité et d'éthique. Le véhicule peut être piraté. En cas d'accident, la responsabilité n' Pas certain. De plus, les voitures autonomes peuvent être placées dans les situations suivantes : Les accidents sont inévitables, obligeant l'IA à prendre des décisions éthiques Minimiser les dommages. Un autre problème majeur est l'abus Outils d'intelligence artificielle.

En fait, les pirates ont commencé à utiliser des machines-outils sophistiquées. Apprenez à accéder aux systèmes sensibles. Cela complique encore Question de sécurité. Enfin, des outils de création vidéo et audio basés sur la profondeur L'apprentissage a été rapidement transféré pour créer des contrefaçons profondes, cette technique La synthèse d'images permet un échange intelligent de visages.

Malgré les risques potentiels, il existe peu de réglementation concernant les intelligences artificielles. Lorsque des lois existent, elles ne s'appliquent qu'indirectement aux IA. Ainsi, le RGPD (Règlement Général sur la Protection des Données) impose des limites strictes à la manière dont les entreprises peuvent utiliser les données des consommateurs. Ce règlement entrave donc l'apprentissage et certaines fonctionnalités d'intelligences artificielles destinées aux consommateurs.

1.4. La cinquième génération ou 5G :

La cinquième génération de téléphonie mobile faisant suite à la 4G, permet des débits plus importants, le débit maximum devrait se situer entre 1 et 10 Gbit/s soit 100 à 1000 fois plus rapide que celui de la 4G. L'une des caractéristiques principales concerne l'internet des objets (IOT) qu'on va voir juste après , les applications IOT couvriront plus le domaine médical , le domicile (application domotique) et d'autres domaines.

Voici une la figure illustrant comment serait éventuellement l'architecture de la cinquième génération des réseaux mobiles.

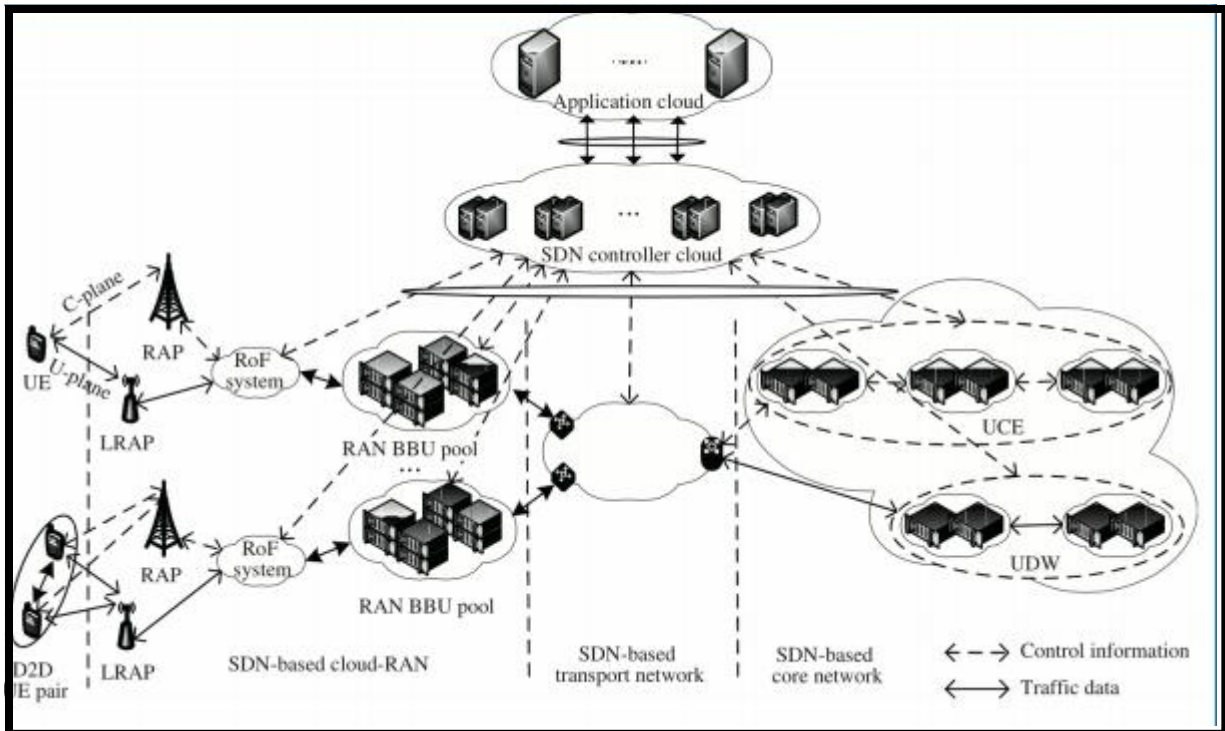


Figure 1.2 architecture 5G [7]

1.5 Méthodologie de conception capteur communicant autonome

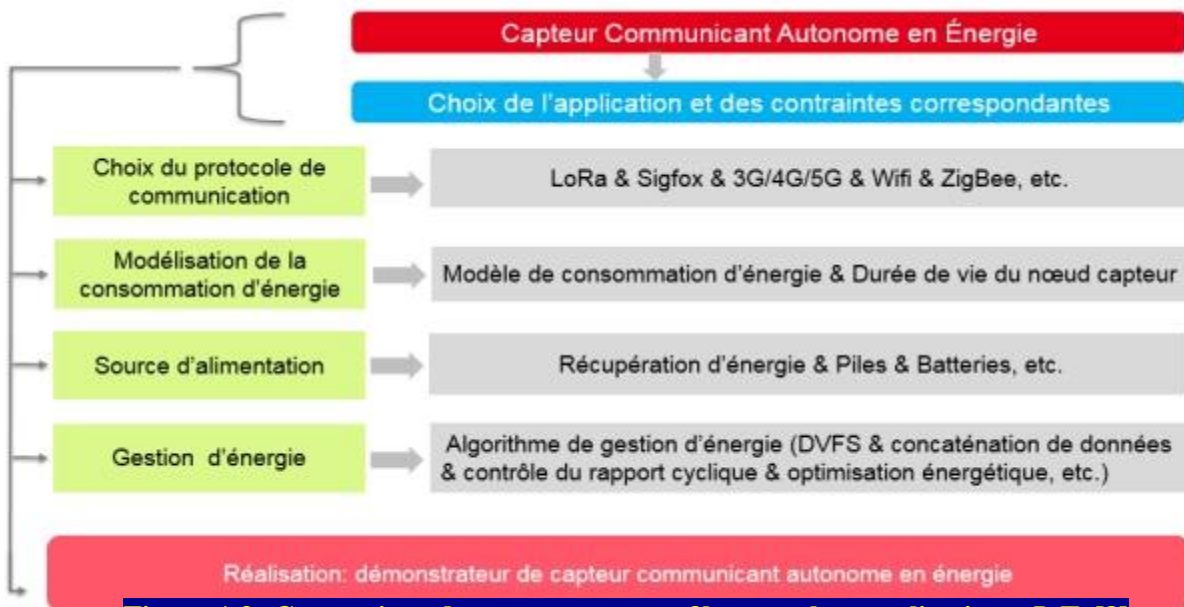


Figure 1.3 Conception de capteurs sans fil pour les applications IoT. [8]

1.6 Conclusion

A l'issue de ce chapitre on a pu voir les différentes notions de base qui forment notre monde virtuel par l'intégration de l'Internet des Objets, et l'automatisation des réseaux, l'intelligence artificielle et la cinquième génération 5G.

Puis la montée du Cloud et du SDN ont permis de grandes révolutions dans le monde des réseaux cellulaires et dans le monde des réseaux tout court. Pour bien contrôler l'énergie IOT.

Chapitre 2

La Virtualisation

dans les réseaux

IOT

2.1 Introduction

La virtualisation implique de couper le matériel du logiciel. Il y a quelques années, la virtualisation a pris place dans le monde informatique, et elle a commencé à être mise en œuvre dans les réseaux de télécommunications, et le déploiement commercial est déjà en place.

Dans ce chapitre, nous allons présenter les éléments qui permettent à une nouvelle génération de réseaux (c'est-à-dire des réseaux logiciels) d'arriver. Ces éléments se caractérisent par la virtualisation du cloud, du SDN (Software Defined Networking) et des fonctions réseau, appelées NFV (Network Function Virtualization). Ces technologies représentent le symbole du réseau d'aujourd'hui et de demain.

2.2 Définition de la virtualisation

La virtualisation est un mécanisme informatique qui nous permet de faire fonctionner sur une même machine physique plusieurs systèmes, serveurs ou Applications comme s'ils fonctionnaient sur des machines physiques distinctes.

Comme on le voit à la figure 2.1

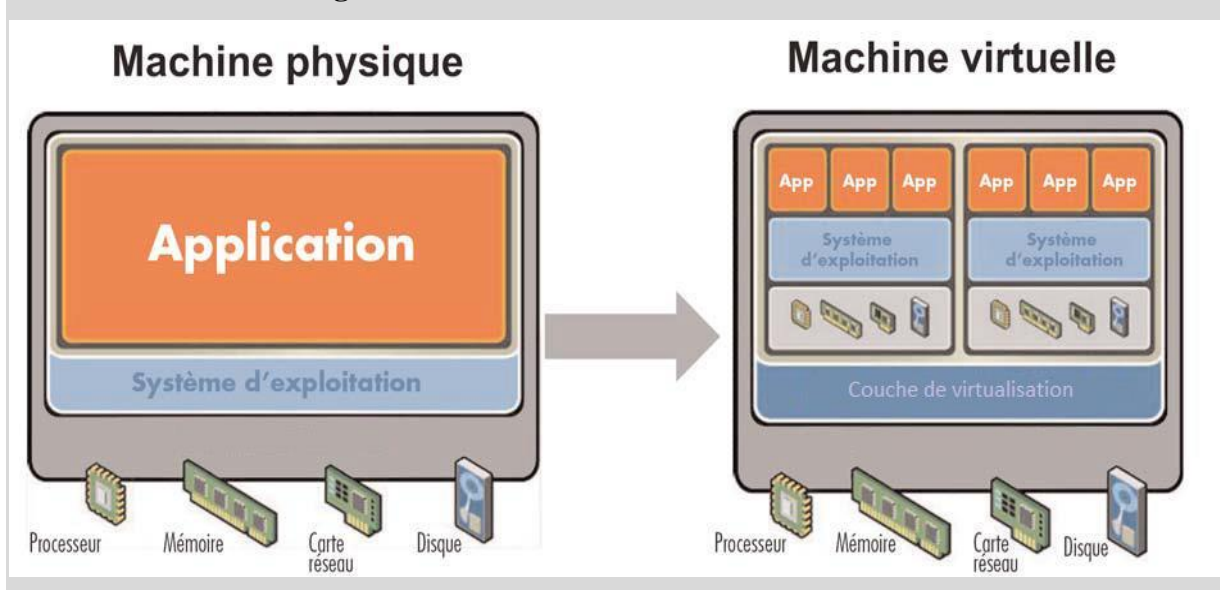


Figure 2.1 Concept de la virtualisation [09]

La virtualisation repose sur le mécanisme suivant :

- Un système d'exploitation principal appelé « système hôte » est installé sur un serveur physique unique. Ce système sert d'accueil à d'autres systèmes d'exploitation.
- Un logiciel de virtualisation appelé « hyperviseur » est installé sur le système d'exploitation principal. Il permet la création d'environnements clos et indépendants sur lesquels seront installés d'autres systèmes d'exploitation « systèmes invités ». Ces environnements sont des « machines virtuelles ».
- Un système invité est installé dans une machine virtuelle qui fonctionne indépendamment des autres systèmes invités dans d'autres machines virtuelles. Chaque machine virtuelle dispose d'un accès aux ressources du serveur physique (mémoire, espace disque, CPU...) qui sont allouées dynamiquement par l'Hyperviseur.

La virtualisation consiste à virtualiser complètement l'environnement matériel c'est-à-dire, mettre le processeur, la mémoire vive, le disque dur, le réseau et les divers autres périphériques d'entrées/sorties au sein d'une machine virtuelle pour qu'elle puisse accueillir un système d'exploitation au complet.

Par conséquent, une machine virtuelle se comporte comme un ordinateur physique et contient ses propres ressources, qui sont alors virtuelles (basées sur des logiciels). L'autonomie de chaque machine virtuelle rend la solution totalement transparente pour les utilisateurs, et aucune opération (comme le redémarrage ou l'installation d'une application) n'interfère avec le fonctionnement des autres machines virtuelles en cours d'exécution sur la même ressource physique

2.2.1 Le rôle de la couche de virtualisation (hyperviseur)

L'hyperviseur permet de supporter les fonctionnalités suivantes :

- Assure le contrôle du processeur et des ressources de la machine hôte.
- Alloue à chaque machine virtuelle les ressources dont elle a besoin.
- S'assure que les VM n'interfèrent pas l'une avec l'autre.

2.2.2 Type d'hyperviseur : Il y a d'innombrables manières de placer des machines virtuelles sur des équipements matérielles. On peut les classer selon trois grandes catégories décrites aux figures 2.2, 2.3, et 2.4.

2.2.2 .1 La para virtualisation :

Un hyperviseur de type para virtualisation appelé également baremétal, est un logiciel qui s'exécute directement sur une plate-forme matérielle. Cette plate-forme permet de supporter des systèmes d'exploitation invités avec leurs pilotes. On appelle également ces logiciels des hyperviseurs de type 1. On retrouve plusieurs exemples sur le marché : VMware vSphere, VMware ESX, Microsoft Hyper-V Server, BareMetal et KVM.

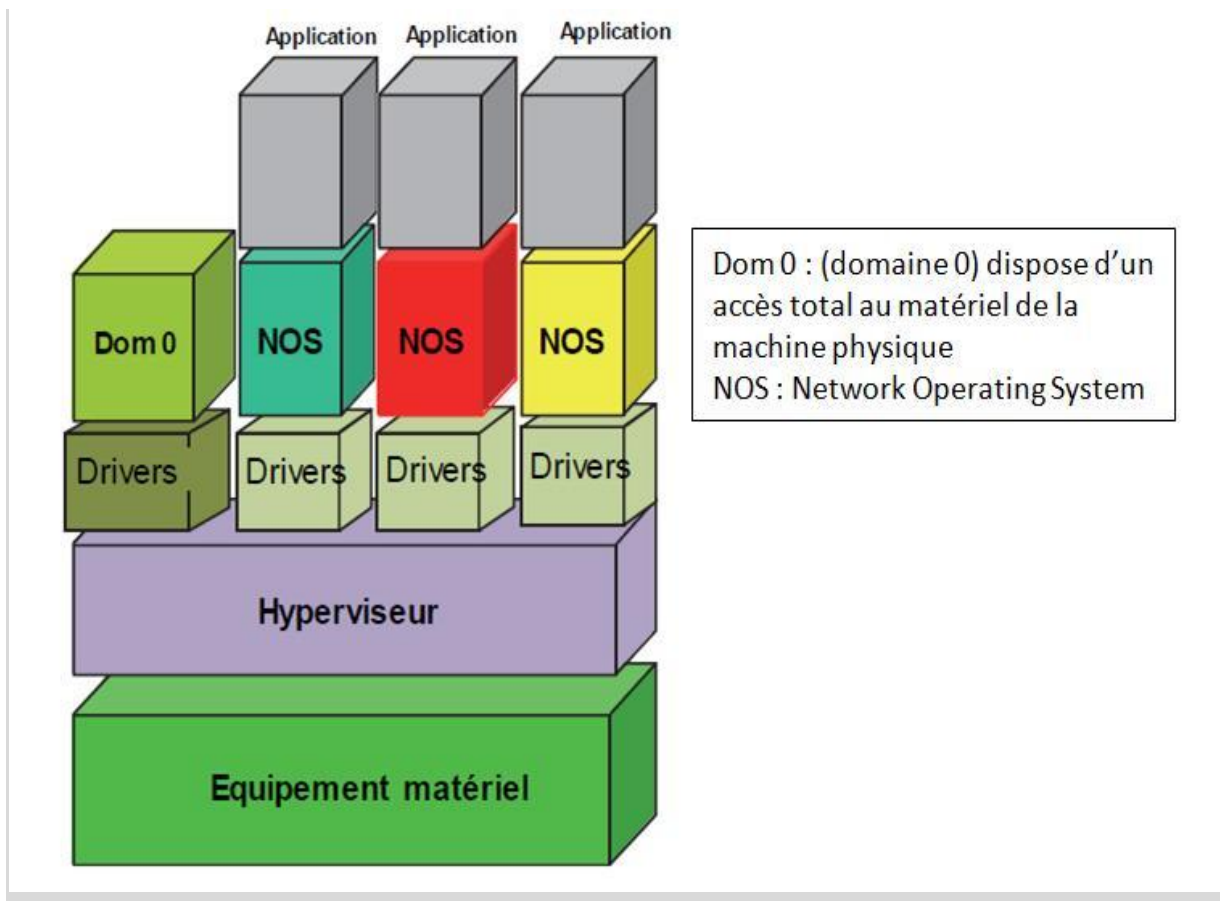


Figure 2.2 La Paravirtualisation [10]

2.2.2.2 La virtualisation par émulation :

Le type 2 d'hyperviseur, est un logiciel qui s'exécute à l'intérieure d'un autre système d'exploitation. Un système d'exploitation invité s'exécute au-dessus du matériel et demande un émulateur (logiciel qui va imiter le comportement physique du matériel) pour s'exécuter sur le système d'exploitation de l'hôte. On peut citer les exemples suivants : Microsoft Virtual PC, VMware Fusion, Parallèles Desktop, Oracle VM Virtual Box

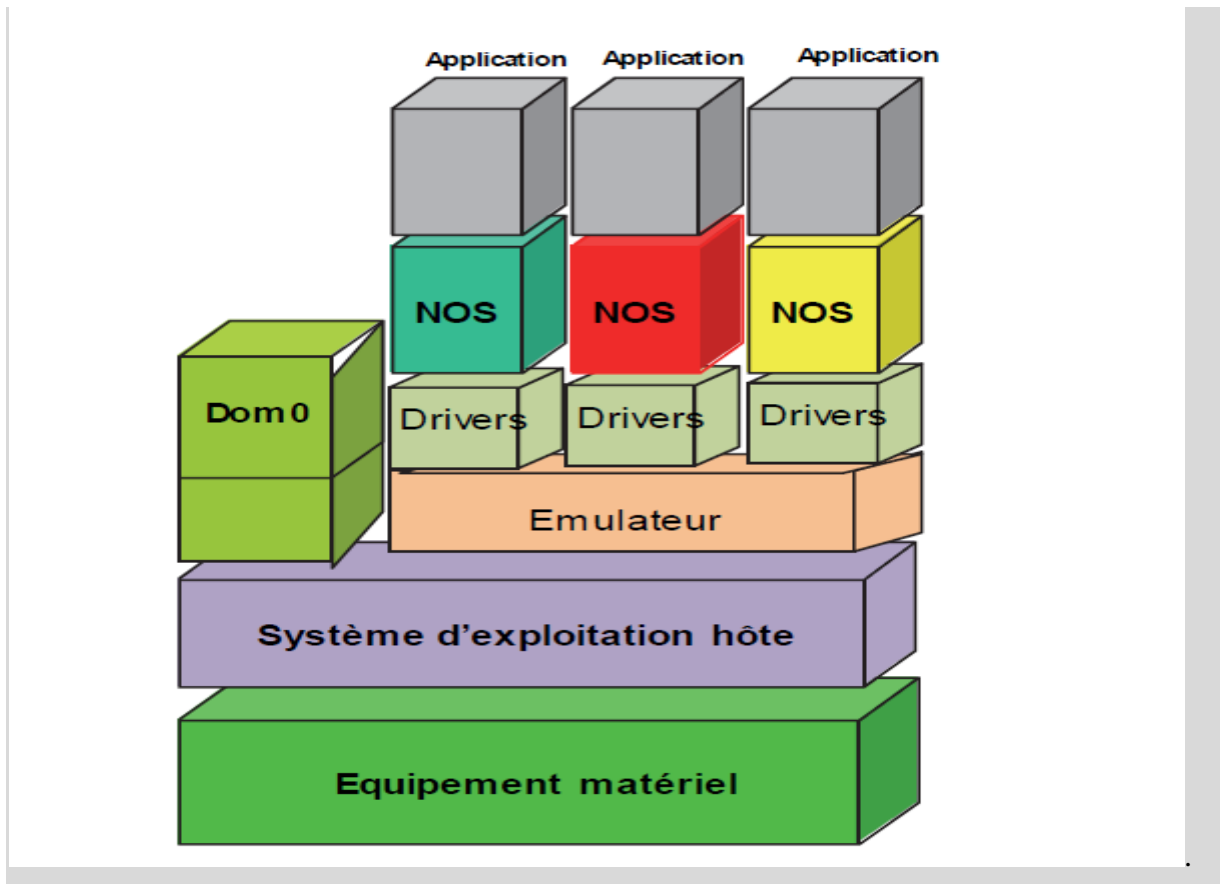


Figure 2.3 Virtualisation par émulation [10]

2.2.2.3 La virtualisation par zone d'exécution

Le troisième type s'éloigne des systèmes d'hyper vision précédents pour faire tourner plusieurs machines simultanément. On parle plutôt d'isolateur. Un isolateur est un logiciel qui permet d'isoler l'exécution des applications dans un environnement appelé contexte ou zone d'exécution. Cette solution est très performante car elle n'introduit pas de surcharge mais les environnements sont plus difficiles à isoler. Dans cette catégorie on peut citer Linux-Vserver, BSD Jail, Open VZ.

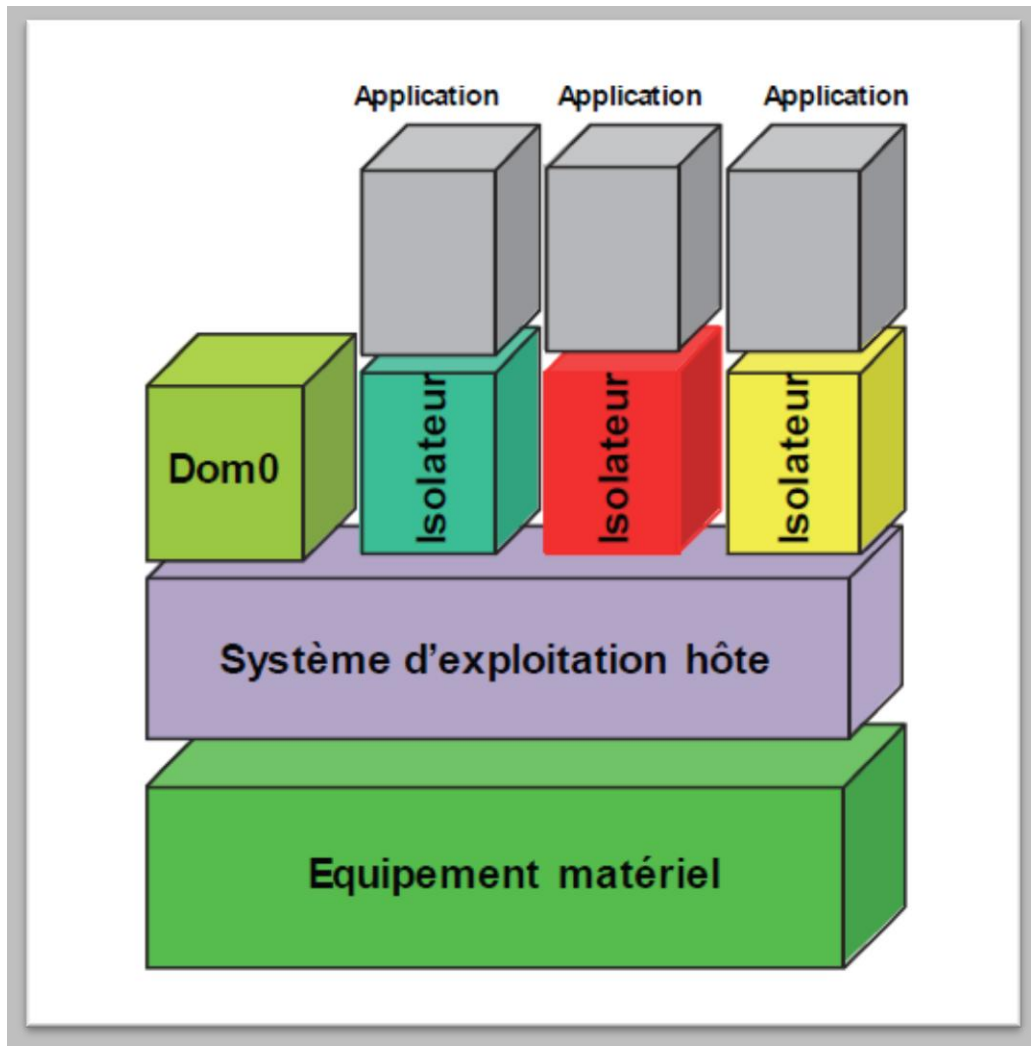


Figure 2.4 Virtualisation par zone d'exécution [10]

2.2.3 Avantages de la virtualisation :

- Possibilité de faire tourner sur un même serveur plusieurs application diverses
- Rationalisation des coûts de matériels informatiques
- Possibilité d'installer plusieurs systèmes (Windows, Linux) sur une même machine
- Portabilité des serveurs : une machine virtuelle peut être déplacée d'un serveur physique vers un autre (lorsque celle-ci a, par exemple, besoin davantage de ressources)

- Accélération des déploiements de systèmes et d'applications en entreprise
- Administration simplifiée de l'ensemble des serveurs
- Réduction de la facture d'électricité, en diminuant le nombre de serveurs physiques
- Disponibilité des services en tout temps même lors de maintenance (migration des VM)

2.3 Les réseaux logiciels :

La réalisation de réseaux logiciels (virtuels) se fait à l'aide des machines virtuelles. Pour cela il faut les interconnecter comme on l'aurait fait pour des machines physiques. Il faut ainsi partager les circuits de communications entre les multiples réseaux logiciels. La figure 3.5 représente un ensemble de réseaux logiciels bâti sur un seul et unique réseau physique.

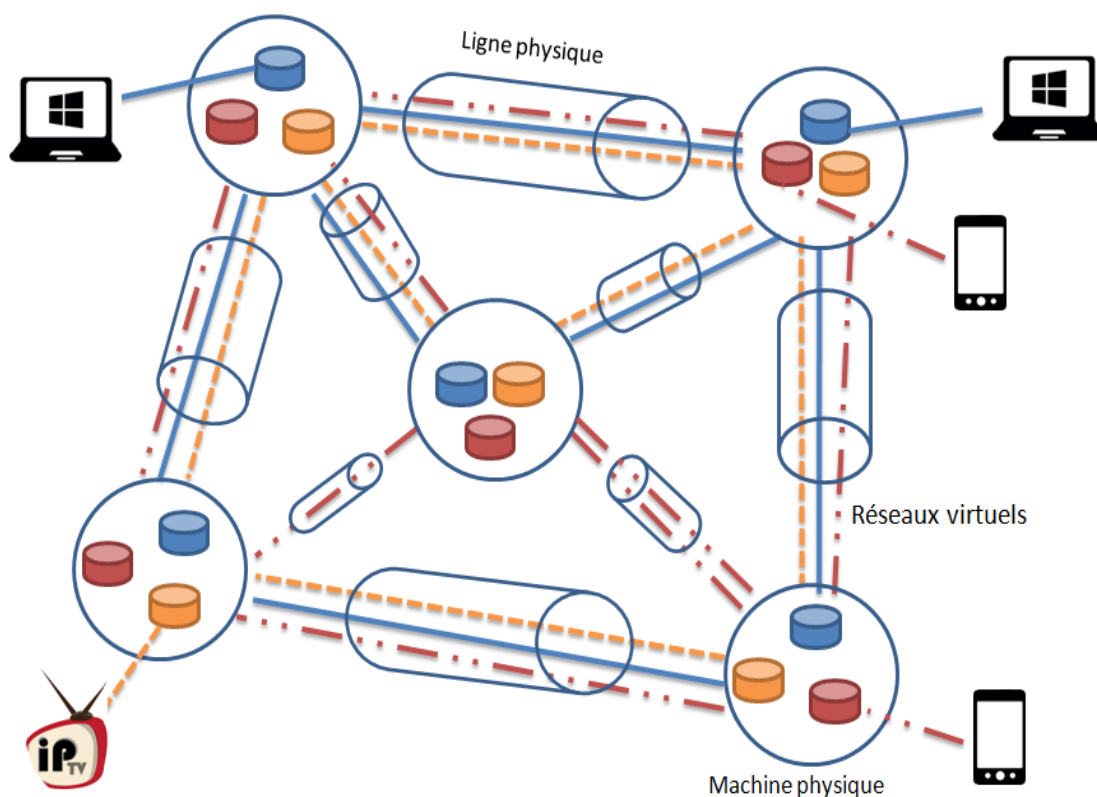


Figure 2.5 Réseaux logiciels sur un seul réseau physique [10]

Chaque réseau virtuel peut avoir ses propres caractéristiques et sa propre architecture. Un réseau logiciel peut être destiné à un service ou une application particulière, par exemple un réseau logiciel dévolu à un service de VoIP (Voice over IP) réseau en rouge sur la figure ci-dessus, un autre à de la IP-TV, réseau en orange sur la figure, et un troisième réseau pour le transport de données, réseau en bleu. De manière générale on peut faire un réseau logiciel pour chaque utilisateur.

Le réseau logiciel est créé au moment où l'utilisateur se connecte et il est détruit lorsqu'il se retire. Mais aujourd'hui on se limite à un nombre de réseaux logiciels compatibles avec la capacité du matériel de l'infrastructure physique sous-jacente. Chaque réseau virtuel se voit allouer des ressources en fonction des demandes et des droits des utilisateurs.

Les nœuds virtuels qui sont à la base de la constitution des réseaux logiciels, se trouvent dans des Datacenter qui peuvent être plus ou moins importants : cela va des gros Datacenter centraux aux petits Datacenter (femto-Datacenter) en passant par d'autres tailles intermédiaires.

Un des avantages de ces réseaux est de pouvoir faire migrer des machines virtuelles d'un équipement physique à un autre et d'un Datacenter à un autre, car on est désormais sur du logiciel. La migration peut être automatisée si par exemple un nœud de transfert est surchargé, montre des signes de faiblesse ou bien tombe en panne. En réalité lorsqu'on réalise la migration d'un nœud, on ne procède pas au transport de tout le code de la machine, ce qui serait un peu lourd dans certains cas. En général, le logiciel à transporter se trouve déjà présent dans le nœud distant mais il est dans un état de veille.

Il suffit de mettre en route le logiciel et de lui envoyer la configuration du nœud à déplacer. Cela demande que peu de données à transférer et une latence faible avant l'ouverture de la machine migrée

L'isolation est une propriété importante que doivent posséder ces réseaux, il ne faut pas qu'un problème sur un réseau logiciel puisse entacher les autres réseaux. L'isolation est complexe, car il faut à la fois partager les ressources communes et être sûr que chaque réseau ait à tout moment l'accès à ses propres ressources.

2.3.1 Equipements virtuels

Pratiquement tous les équipements peuvent être virtualisés à l'exception de ceux qui doivent prendre en charge la réception de signaux (électromagnétiques, pression atmosphérique, température ...). Par exemple une antenne ou un thermomètre ne peuvent pas être remplacés par un logiciel. Mais toute la partie qui concerne le traitement de signal peut être gérée dans une machine virtuelle.

Tous les équipements des réseaux sont virtualisés ou en cours de virtualisation, que ce soit la partie traitement des Node-B des réseaux mobile 3, 4 et dans pas longtemps 5G, les bases de données HLR, VLR, HSS, les routeurs, commutateurs, firewalls, load balancer etc. De plus, ces machines peuvent être partitionnées pour s'exécuter sur plusieurs machines en parallèle.

C'est ici qu'on voit toute l'importance des Datacenters qui forment le Cloud puisque ce sont des environnements où la puissance de traitement est disponible avec un vaste espace de stockage pour les machines virtuelles et tout un ensemble d'informations liées aux réseaux, aux clients et aux algorithmes de traitement.

2.4 Le Cloud

Littéralement le Cloud est un ensemble de ressources (ordinateurs centraux, serveurs, baie de stockage, équipements de réseaux et de télécommunication, etc.) que l'on déplace de l'entreprise ou du particulier vers Internet. En effet, on rassemble les ressources dans des centres de données ou data centers,

on parle alors de délocalisation de ressources. Il s'agit de déporter sur un serveur éloigné, le traitement informatique qui jusqu'ici s'effectue sur la machine de l'utilisateur ou du moins sur le serveur de l'entreprise.

C'est une évolution majeure de l'informatique qui fait que les utilisateurs ou les entreprises ne sont plus gérants de leurs serveurs informatiques.

Ils accèdent de façon souple et évolutive à de nombreux services en ligne sans avoir à gérer l'infrastructure. Les données de l'entreprise et les logiciels sont déportés de l'ordinateur vers le serveur distant, on ne sait où, d'où l'expression "dans le nuage". [11]



Figure 2.6 Le Cloud [12]

L'avantage du Cloud provient de la puissance des datacenters qui permettent de prendre en charge un grand nombre de machines virtuelles et de leur donner la puissance nécessaire à leurs exécutions. Les datacenters vont servir de base pour les réseaux logiciels et le support des machines virtuelles pour les créer. C'est ce qui a poussé de nombreux opérateurs de télécommunications à créer des sociétés qui fournissent des services Cloud pour eux-mêmes et également pour leurs clients.

2.4.1 Catégories de Cloud

Le monde du Cloud est assez divers, par rapport aux multitudes de fonctionnalités qu'il peut apporter. On retrouve trois catégories principales de Cloud comme le montre la figure 2.7

- Le Cloud SaaS (Software as a Service)
- Le Cloud PaaS (Platform as a Service)
- Le Cloud IaaS (Infrastructure as a Service).

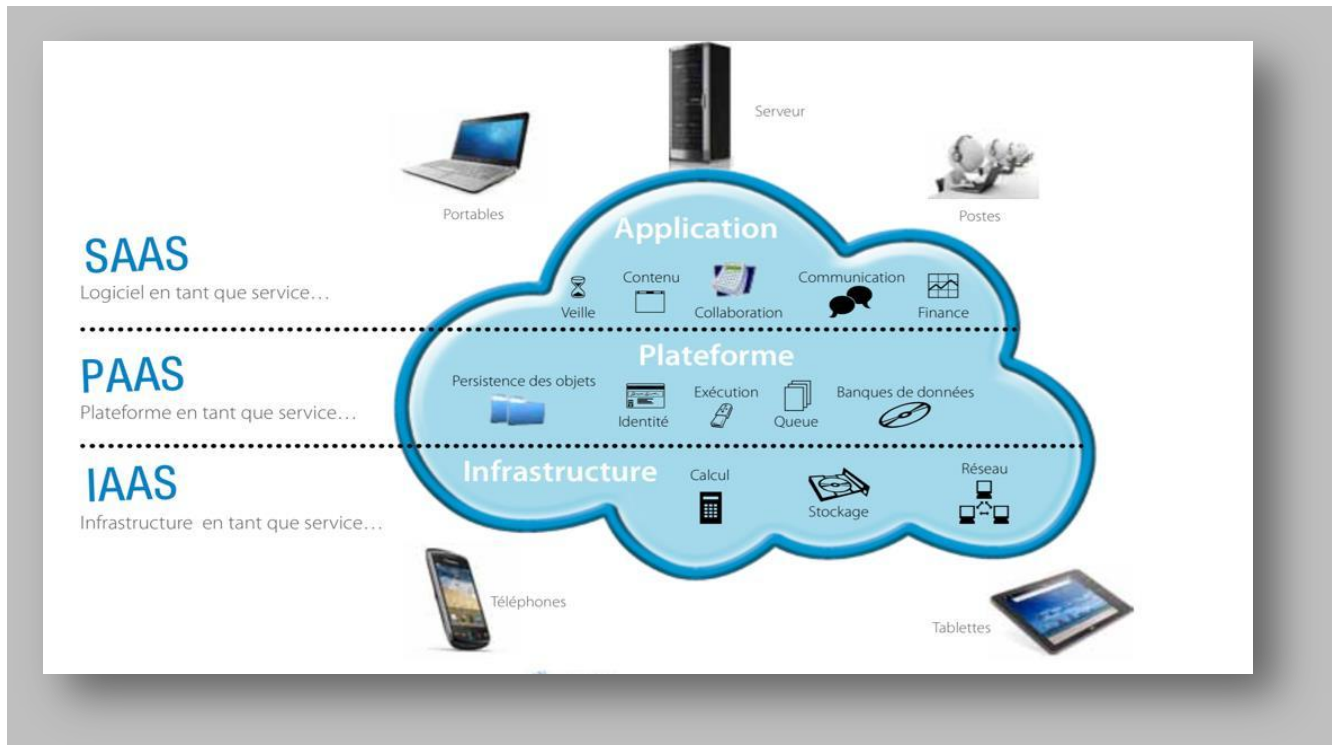


Figure 2.7 Les trois principales catégories de Cloud [11]

La première solution, le SaaS (Software as a Service) appelé également le Cloud Computing, offre le plus de potentiel, en effet il met à disposition tous les services à l'utilisateur que ce soit du calcul, du stockage ou du réseau. De façon plus précise, le SaaS permet au fournisseur de Cloud de proposer en plus de l'infrastructure et de la plate-forme, les applications elles-mêmes. Il ne reste plus rien dans l'entreprise, si ce n'est que les terminaux permettant l'accès à Internet.

Notamment cette solution extériorise pratiquement l'ensemble de ressources de l'entreprise. La deuxième solution ou le PaaS (Platform as a Service), laisse les applications à l'initiative de la société. Le fournisseur de Cloud propose une plate-forme complète et ne laisse à l'entreprise que la gestion des applications.

Notamment les serveurs de l'entreprise ne prennent en compte que les applications. Enfin, la troisième solution IaaS (Infrastructure as a Service), laissant nettement plus d'initiatives à l'entreprise. Dans ce cas le fournisseur offre toujours le stockage, le calcul et le réseau mais laisse à la société le choix des applications et les environnements nécessaires aux applications tels que les systèmes d'exploitation et les bases de données. [10] Pour comprendre plus les fonctions des différents types de Cloud, la figure ci-dessous compare ces catégories au modèle classique que l'on trouve souvent aujourd'hui.

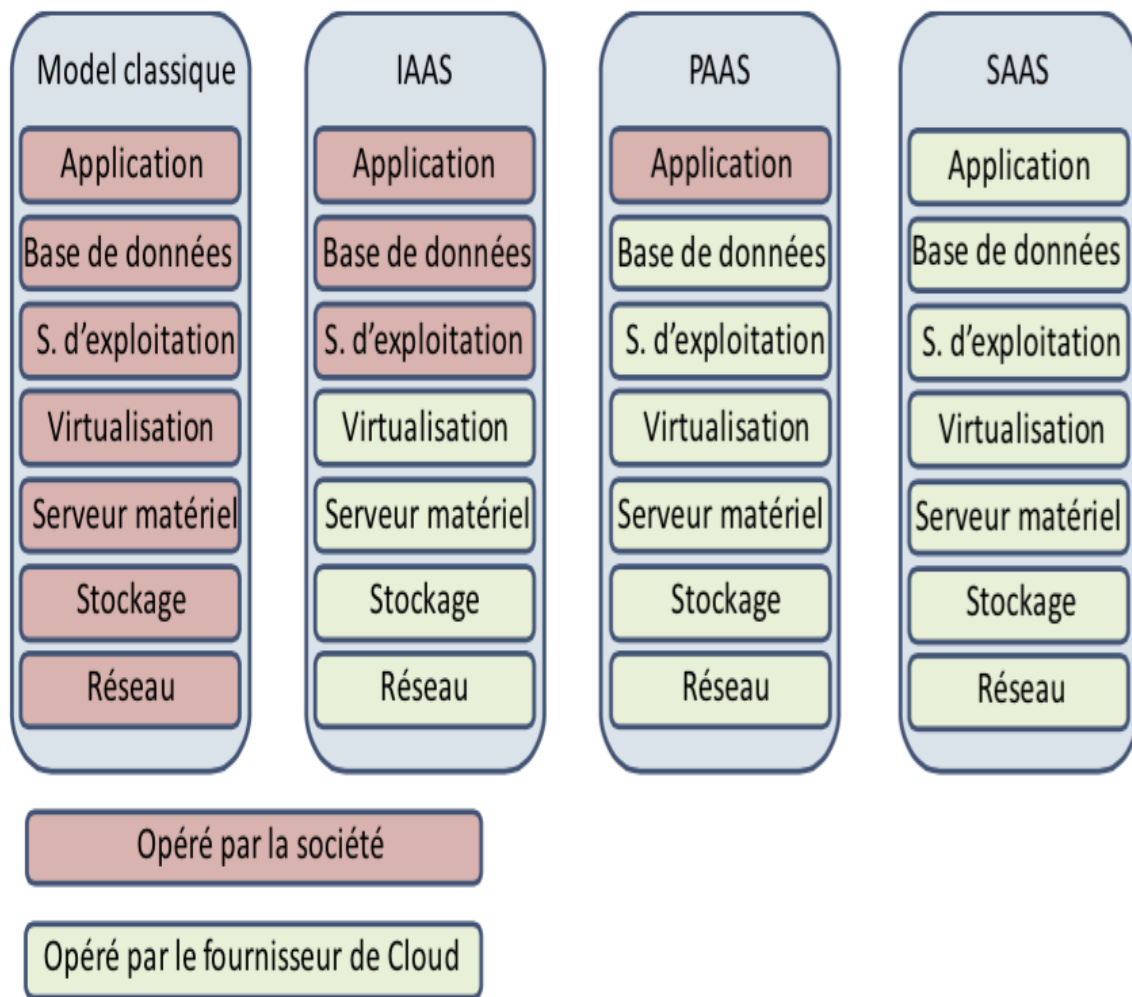


Figure 2.8 Les différents types de Cloud [10]

Le problème majeur que craignent les entreprises est la sécurité. En effet, rien n'empêche les fournisseurs de Cloud d'aller jeter un coup d'œil aux données de leurs clients ou encore plus les intercepter.

Pour pallier ce problème, des Cloud de sécurité sont nécessaires, on les appelle aussi les Cloud souverains, de quoi rassurer les clients et gagner un peu plus leurs confiances. Les Cloud souverains contiennent de nombreuses machines virtuelles de sécurité comme des serveurs d'authentification, des serveurs d'autorisation, on peut trouver également des firewalls, des DPI (Deep Packet Inspection) etc.

L'une des techniques que l'on verra dans la suite est le SDN (Software-Defined Networking), qui permet de définir plusieurs tables de transferts, et seule la puissance des Datacenter sera capable de faire tous les calculs nécessaires.

2.5 Le SDN (Software-Defined Networking)

Le SDN (Software-Defined Networking) est une approche du réseau dans laquelle le contrôle est séparé du matériel et transféré vers une application logicielle appelé contrôleur. Le SDN isole l'infrastructure sous-jacente du réseau afin de pouvoir la traiter comme une entité logique ou virtuelle. Jusqu'à présent les tables de transfert étaient calculé de façon distribuée dans chaque équipement de type routeur ou commutateur, mais désormais avec cette nouvelle architecture les plans de contrôle et de transfert du réseau sont séparés pour pouvoir optimiser chacun d'eux plus facilement et offrir une vue centralisée sur le réseau distribué.

2.5.1 Objectif du SDN:

L'objectif du SDN est d'abaisser les coûts par la virtualisation, l'automatisation, et la simplification. Pour atteindre ces objectifs le SDN permet une personnalisation des réseaux, un temps de mise en route très court et un déploiement du réseau avec la bonne qualité de service et non pas une qualité de service générale.

2.5.2 Architecture du SDN

Aujourd'hui, pour constituer un système d'information et d'opération complet pour une entreprise il faut mettre en place cinq domaines essentiels à savoir : le stockage, le calcul, le réseau, la gestion et le contrôle et enfin la sécurité. Ces domaines peuvent se mettre en place par l'intermédiaire de machines virtuelles associées à chacun des domaines. L'environnement d'information et d'opération peut donc être contenu dans le Cloud sous forme de VMs distribuées dans des datacenters.

On ajoute à l'environnement des applications qui peuvent être de deux types : applications business et des applications qui permettent le pilotage ou l'orchestration de

L'environnement lui-même. La figure 3.9 résume l'environnement complet de l'architecture générale des systèmes d'informations et d'opérations des entreprises.

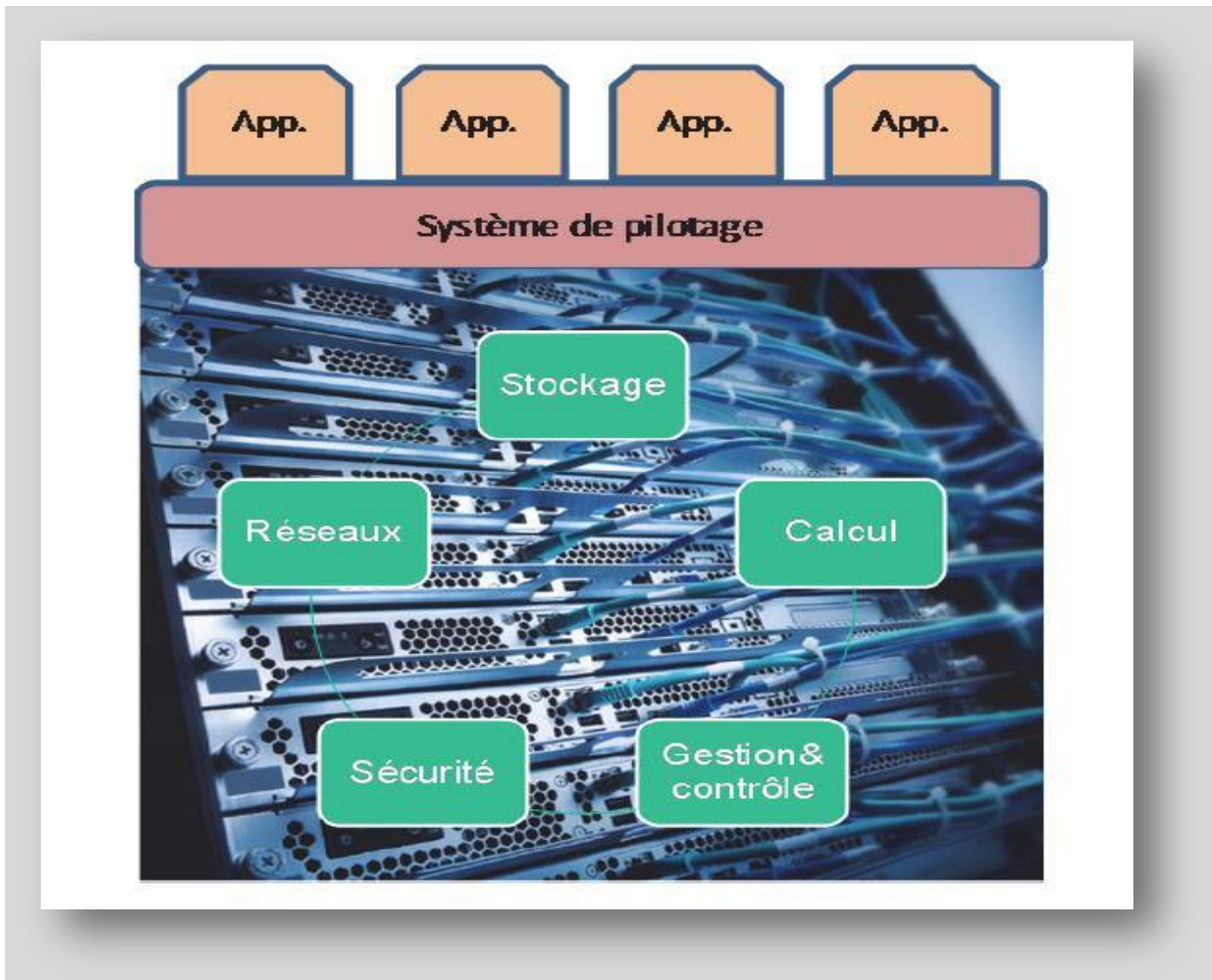


Figure 2.9 Environnement complet d'un système d'information et d'opération [10]

2.5.3 Architecture ONF (Open Network Foundation) :

L'ONF a été chargé de la normalisation de l'architecture SDN. L'architecture proposée par l'ONF est composée de trois couches comme le décrit la figure 2.10.

- La couche la plus basse ou le plan infrastructure : cette couche permet de découpler le hardware du software et se charge du transport de données. Elle comporte les algorithmes et les protocoles qui permettent aux paquets IP d'avancer dans le réseau.
- La deuxième couche ou le plan de contrôle : ce plan contient les contrôleurs qui donnent des ordres au plan de données pour que l'acheminement des paquets se fasse au mieux. Cette architecture permet de centraliser le contrôle pour permettre la

récupération de nombreuses informations sur tous les abonnés et d'obtenir une sorte d'intelligence. Les contrôleurs se répartissent les infrastructures à prendre en charge, ils opèrent sur un ensemble de fonctions comme le provisionnement de l'infrastructure, la répartition ou non de charge sur les différents équipements du réseau.

- La couche supérieure ou plan application : ce plan est responsable des applications nécessaires et de leurs exigences en matière de réseau, de stockage, de calcul, de sécurité et de gestion. Cette couche introduit la programmabilité des applications et permet de faire descendre vers le contrôleur tous les éléments nécessaires pour la mise en place du réseau logiciel personnalisé aux besoins des applications (actions réalisés par l'orchestrateur). Tout nouveau service peut être introduit rapidement et donnera naissance à un réseau spécifique s'il ne peut pas s'implémenter sur un réseau déjà existant.

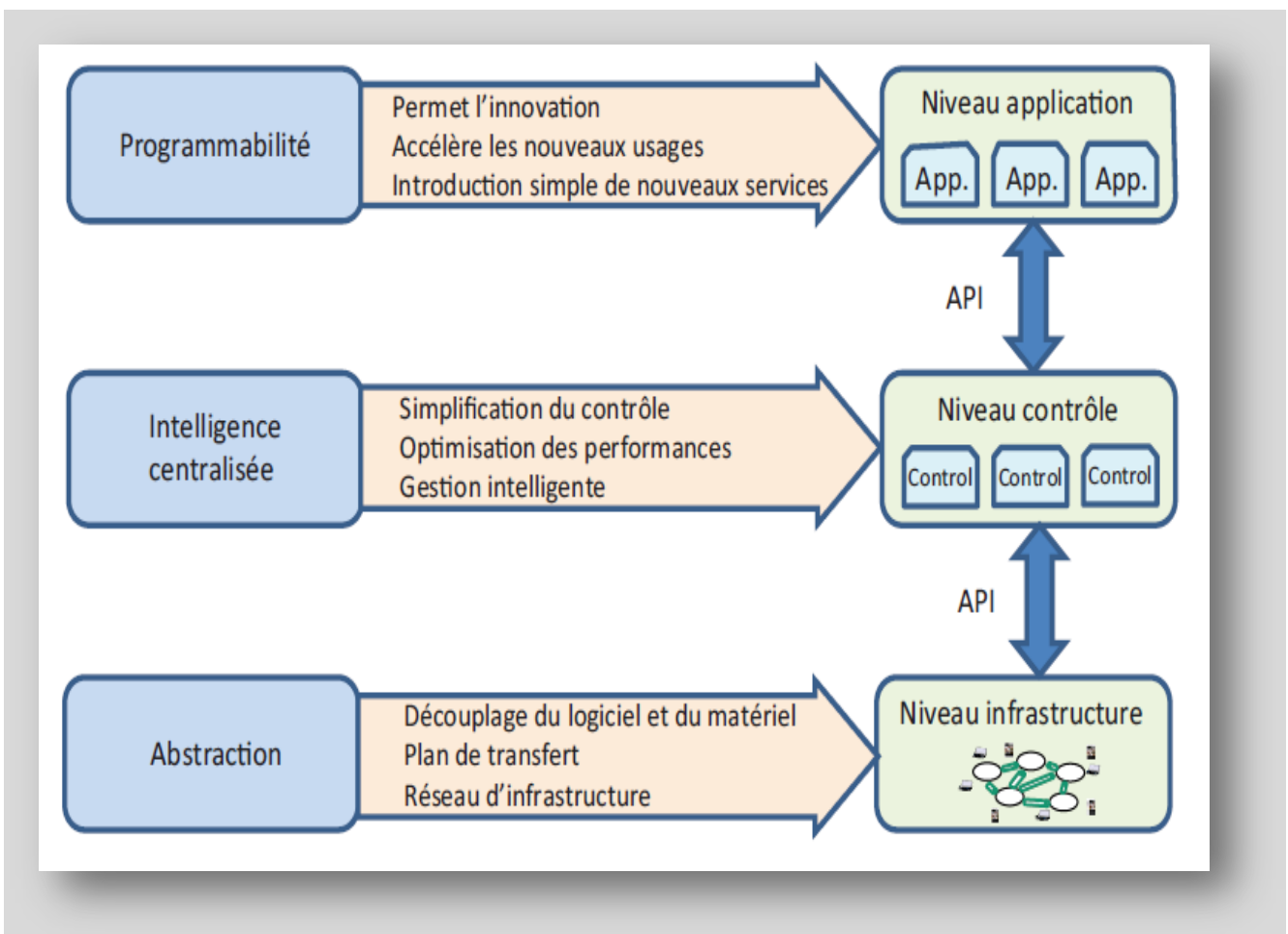


Figure 2.10 Architecture de l'ONF [10]

On va désormais voir l'architecture SDN plus en détail comme le montre la figure 2.11.

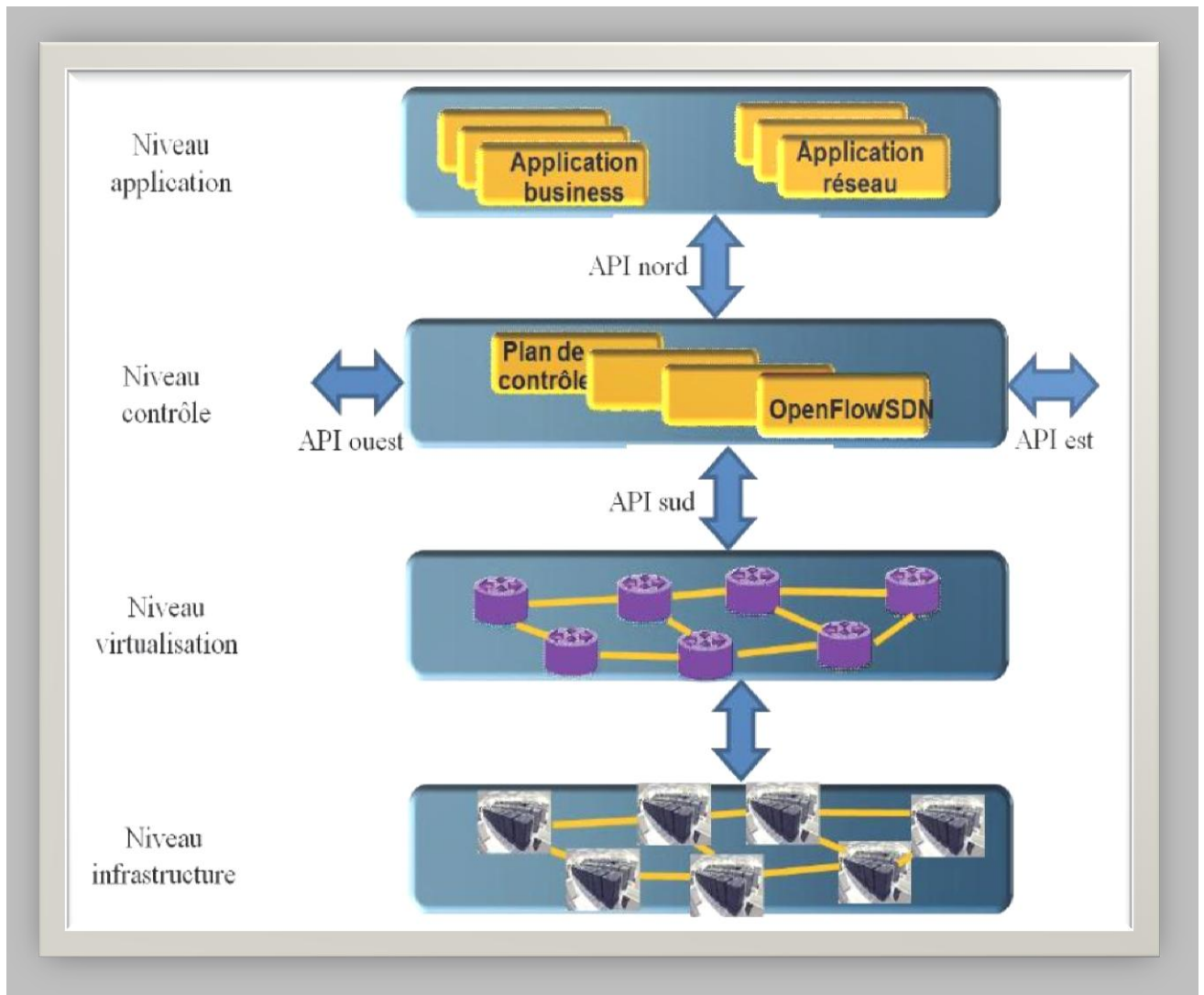


Figure 2.11 Architecture SDN [10]

Le niveau infrastructure est partagé en deux plans, le plan physique et plan logique. Le plan physique se charge de l'ensemble des équipements matériels de manière générale de l'infrastructure physique pour réaliser un réseau. Le plan logique concerne la mise en place des réseaux logiciels construits à base de machines virtuelles et se partageant l'infrastructure physique suivant des règles qui proviennent des couches supérieures.

Dans l'architecture présentée à la figure 2.11 on retrouve les trois couches citées un peu plus haut, ces couches communiquent entre elles via des interfaces appelées API (Application Programming Interface) elles sont au nombre de quatre : API nord (northbound), sud (southbound), est (eastbound) et ouest (westbound).

L'interface nord permet la communication entre le niveau applicatif et le contrôleur. Elle a pour objectif de décrire les besoins de l'application et de faire passer les commandes pour orchestrer le réseau. L'interface sud décrit la signalisation nécessaire entre le plan de contrôle et la couche de virtualisation. Pour cela il faut que le contrôleur puisse déterminer les éléments qui formeront le réseau logiciel dont il s'occupe. Dans l'autre sens, les statistiques d'occupations des ressources du réseau doivent être remontées pour que le contrôleur ait une vue la plus complète possible de l'utilisation des ressources. Les interfaces est et ouest permettent la communication entre les contrôleurs pour prendre des décisions ensemble.

L'interface sud est souvent connue au travers du terme OpenFlow, qui est une signalisation entre l'infrastructure et le contrôleur. C'est un protocole permettant le transport des informations qui définissent proprement le flot dont il est question pour lui ouvrir, modifier ou fermer le chemin associé. OpenFlow détermine également les actions à exécuter dans un sens ou dans l'autre de l'interface. Enfin, il permet la remontée d'informations de type mesures effectuées sur les différents ports de communications pour que le contrôleur ait une vue précise du réseau.

Le contrôleur a pour objectif de contrôler le plan de données et de recevoir du plan applicatif les éléments nécessaires pour déterminer le contrôle à exercer. Le contrôleur doit donc recevoir des règles de politiques à respecter et en partant de la description des applications à prendre en compte, il en déduit les actions à exercer sur les équipements de réseau. Les actions peuvent s'exécuter sur des routeurs, des commutateurs, des firewalls, des équilibreurs de charge, des VPN virtuels et d'autres équipements physiques.

Le contrôleur contient des modules prenant en charge différentes fonctions nécessaires à la bonne marche du réseau. Parmi ces fonctions, une des plus importantes correspond à l'équilibreur de charge (load balancer). C'est un ensemble d'algorithmes déterminant les meilleurs chemins à suivre dans le plan de données, il doit décider, en fonction des statistiques reçues, des nœuds de l'infrastructure de réseau par lesquels doivent transiter les paquets. Ce choix doit optimiser les demandes utilisateurs ou plus précisément les applications des utilisateurs.

Le plan applicatif est essentiellement formé de Cloud qui retiennent les machines virtuelles applicatives. Ces machines peuvent être de type business ou de type gestion d'éléments réseau comme la gestion des handovers ou la détermination du meilleur accès, à

tout moment, pour un terminal. Dans cette couche se trouve essentiellement les systèmes d'exploitation de Cloud.

Pour résumer, les parties hautes et basses concernent le Cloud et les réseaux physiques et logiques. Entre ces deux niveaux, la gestion et le contrôle du réseau et des applications doivent être mis en place. Du côté application business, on retrouve les ensembles de modules de logiciels permettant de déployer des infrastructures de Cloud Computing (IaaS). De l'autre côté, on trouve les applications de mise en place de structure virtualisée de réseau avec les commandes nécessaires pour prendre en charge les applications business.

2.6 La virtualisation des fonctions réseaux NFV :

La virtualisation des fonctions réseau (Network Functions Virtualization) est une initiative destinée à virtualiser des fonctions réseau précédemment gérées par du matériel dédié. C'est une nouvelle façon de concevoir, déployer et gérer les services réseau, le NFV dissocie les fonctions réseau des systèmes matériels propriétaires, pour les exécuter au niveau du logiciel.

Le NFV exploite les technologies de virtualisation d'entreprise standard pour consolider de nombreux types d'équipement réseau sur des serveurs, des commutateurs et des systèmes de stockage standards. Elle réduit de ce fait le matériel, l'alimentation et les besoins d'espace du data center.

2.6.1 Architecture fonctionnelle du NFV

Cette architecture est constituée :

- d'une couche comprenant les fonctions de réseau virtuelles (Virtual Network Function) ;
- d'une couche d'infrastructure (calcul, stockage et réseau) dans laquelle les fonctions seront exécutées ;
- une couche pour la gestion et l'orchestration.

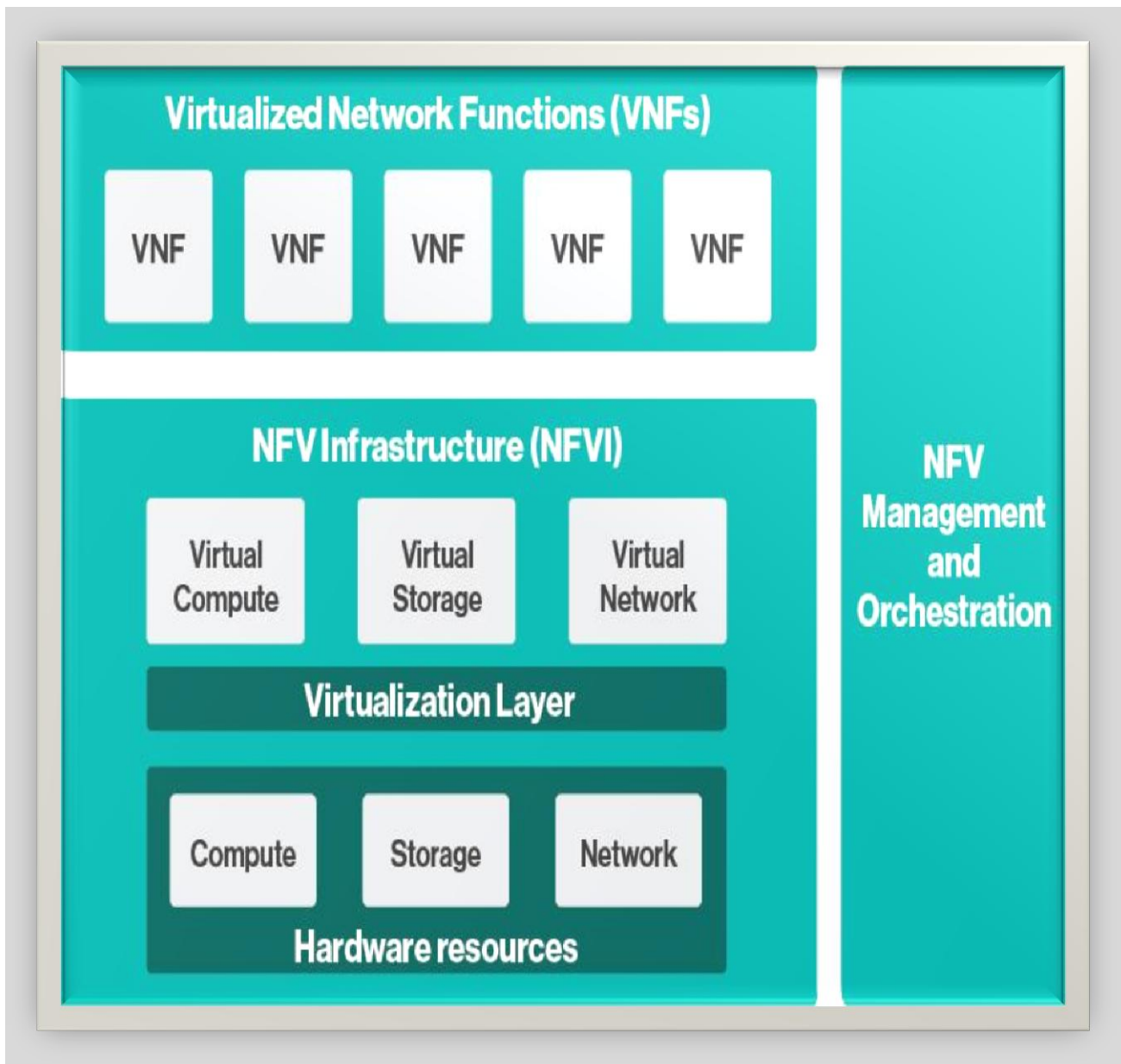


Figure 2.12 Architecture fonctionnelle du NFV [15]

Cette architecture permet le déploiement et l'exécution de fonctions réseau virtualisées (VNF) sur une infrastructure Cloud dénommée « NFV Infrastructure » (NFVI).

L'infrastructure NFVI est composée de ressources matérielles de base (pour le calcul, le stockage et la mise en réseau) qui sont partitionnées et partagées au moyen d'une couche logicielle de virtualisation. Cette couche logicielle peut par exemple correspondre à un hyperviseur, où une VNF pourra être déployée sur une seule machine virtuelle au sein du NFVI.

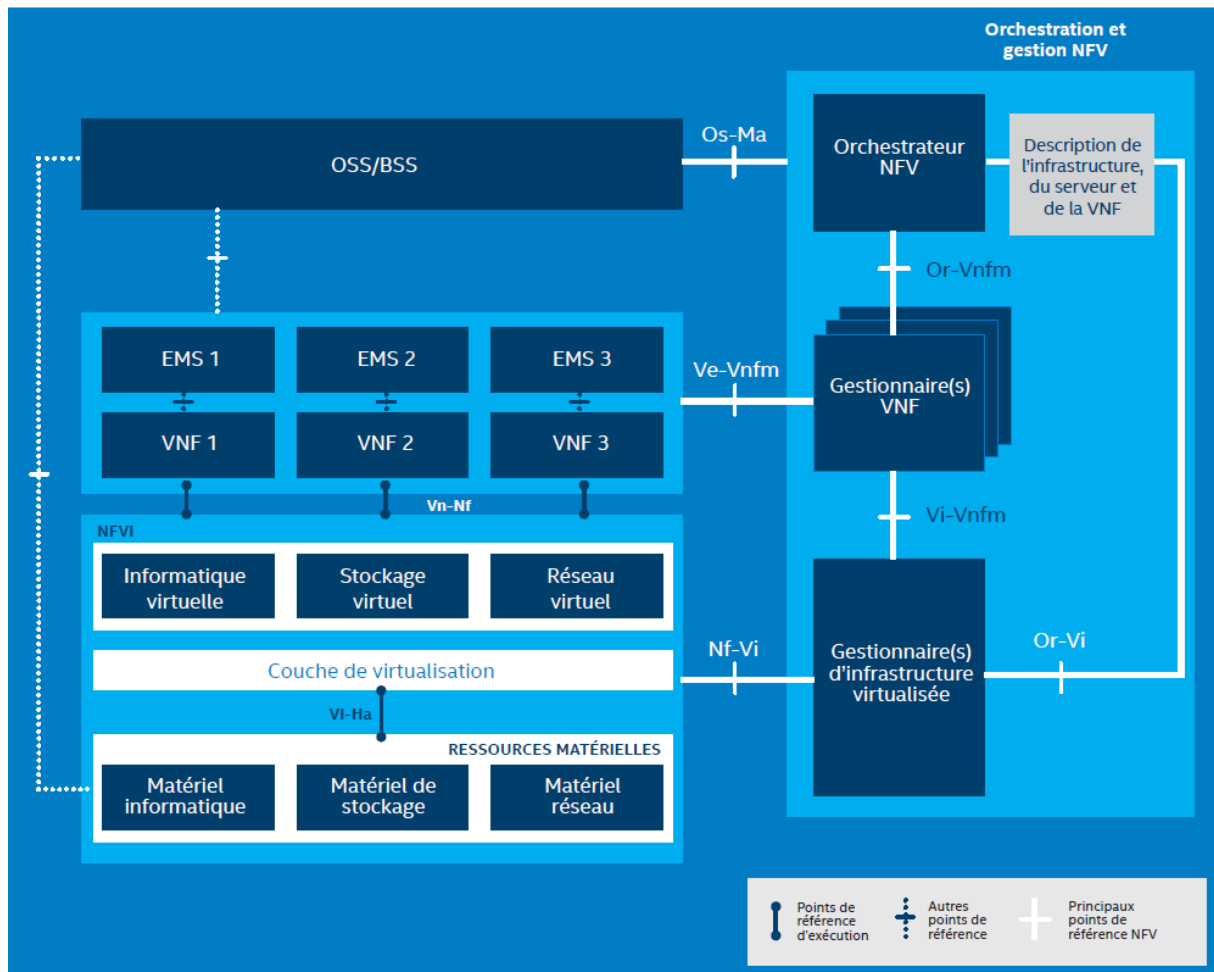


Figure 2.13 Les éléments constituant l'architecture NFV [16]

Le déploiement, l'exécution et l'exploitation des VNFs dans l'infrastructure NFVI sont pilotés par des fonctions de gestion et d'orchestration MANO (Management And Network Orchestration) comprenant :

- un orchestrateur NFV (NFVO) en charge du cycle de vie des services réseau ;
- un gestionnaire (VNFM) en charge du cycle de vie des VNFs ;
- un gestionnaire (VIM) en charge de la gestion des ressources du NFVI.

2.6.2 Eléments de l'architecture NFV [14] :

L'architecture NFV est constituée d'éléments suivants :

2.6.2.1 NFV Infrastructure (NFVI) :

Cet élément comprend l'ensemble des composants matériels (matériel informatique, stockage et matériel réseau) et logiciels (machines virtuelles) de l'environnement dans

lequel les VNFs sont déployées, gérées et exécutées. Pour une VNF la couche de virtualisation et les ressources matérielles ne forment qu'une seule entité qui leur fournit des ressources virtualisées nécessaires.

Cette architecture (NFVI) comprend trois couches qui sont les suivantes :

- La couche matérielle (Hardware Resources) : cette partie contient les différentes ressources matérielles nécessaires à l'exécution des fonctions réseau. On retrouve les ressources informatiques (serveurs, RAM...), les ressources de stockage (disque dur, NAS...) et les ressources réseau (routeurs, commutateur, firewall...).
- La couche de virtualisation : cette couche de virtualisation découple le logiciel du matériel. Elle permet ainsi au logiciel d'évoluer indépendamment du matériel. Elle alloue de façon dynamique les ressources matérielles aux différentes machines virtuelles.
- Les ressources virtualisées : elle comporte les ressources informatiques, de stockage et de réseau virtualisées pouvant être utilisée par les machines virtuelles.

2.6.2.2 Virtualized Network Functions (VNF)

Cette couche contient les blocs de base (les fonctions réseau virtualisées) de l'architecture NFV. Une VNF est une fonction réseau qui est désormais virtualisée. Pour virtualiser une fonction réseau qui était autrefois représenté par du matériel, il suffit d'écrire un code qui effectue exactement ce que fait le matériel. Ainsi on passe du concret au logiciel.

Les VNFs peuvent être connectées ou être combiner entre elles pour offrir des services de communications réseau à grande échelle. C'est ce qu'on appelle le « Service Chaining » Exemple de VNF : vRouter, vFirewall, vSGSN-MME, vEPG.

2.6.2.3 Elément management system (EMS) :

Un EMS gère un ou plusieurs types spécifiques d'éléments réseaux de télécommunication. Typiquement, l'EMS gère les fonctions et les capacités au sein de chaque élément réseau mais ne gère pas le trafic entre ces éléments dans le réseau. Dans notre cas il gère différentes VNFs.

2.6.2.4 Management and Network Orchestration (MANO) :

Elle se compose de trois parties :

2.6.2.4.1 Virtualized Infrastructure Manager (VIM)

Le gestionnaire d'infrastructure virtualisée comprend les fonctionnalités qui sont utilisées pour contrôler et gérer l'interaction des VNFs avec les différentes ressources informatique , de stockage et réseau, sous son autorité ainsi que leur virtualisation.

2.6.2.4.2 VNF Manager (VNFM) :

Il permet la gestion du cycle de vie des instances VNF, il est responsable de :

- L'initialisation
- La mise à jour
- Les tests (Query)
- La mise à l'échelle
- La résiliation (terminate).

Plusieurs VNFM peuvent être déployé pour gérer une ou un ensemble de VNFs.

2.6.2.4.3 L'orchestrateur

Prend en charge le cycle de vie des services réseau, incluant :

- La gestion globale des ressources, la validation et l'autorisation des demandes
- de ressources de la part de la NFVI ;
- Politique de gestion des instances des services réseau ;
- Mesures et surveillance des performances KPI (Key Performance Indicator).

2.6.2.5 La couche OSS (Operations Support System)/BSS (Business Support System)

L'OSS s'occupe de la :

- Gestion du réseau
- Gestion des pannes
- Gestion de la configuration
- Gestion des services.

Le BSS s'occupe de la :

- Gestion des abonnés
- Gestion des commandes
- Gestion de la facturation et des revenus.

Les plates-formes BSS et OSS sont liées dans le besoin d'appuyer différents services de bout en bout. Chaque domaine possède ses propres responsabilités liées aux données et aux services.

2.6.3 SDN et NFV :

Mutuellement bénéfiques, sans être dépendants, le SDN et le NFV partagent une approche basée sur le logiciel pour le support des réseaux plus évolutifs, agiles et innovants. Le SDN a cependant une portée plus vaste en matière de contrôle des flux de trafic et de gestion du réseau. Le NFV est plus se concentre sur la virtualisation et l'optimisation de fonctions et de services réseaux tels que les routeurs, les contrôleurs de distribution des applications, les équilibreurs de charge et les pare-feu.

Ces éléments ont permis l'apparition des réseaux cœur virtualisés vEPC que l'on va voir en détail dans les lignes à venir.

2.7 LE vEPC (virtual Evolved Packet Core)

2.7.1 Définition du vEPC :

L'EPC virtuel fait abstraire et décompose les différentes fonctions de l'EPC classique et leur permet une exécution dans des combinaisons uniques dans des serveurs COTS (Commercial Off-The-Shelf).

2.7.2 Le passage de l'EPC vers le vEPC :

L'architecture EPC traditionnelle est de plus en plus limitée elle n'optimise plus du tout les coûts. De plus, elle n'est pas flexible. Le temps de déploiement est trop long et donc une introduction au marché tardive.

Le vEPC utilise la technologie NFV (Network Functions Virtualization) pour virtualiser les composants d'un système EPC classique, on obtient donc un vSGSN-MME, vEPG, vPCRF etc. Cette solution permet aux fournisseurs d'accélérer le déploiement et d'accroître le nombre des services, et enfin d'abaisser les coûts de développement en diminuant le nombre d'équipements et les coûts de maintenance. Ci-dessous l'architecture d'un réseau vEPC est représentée.

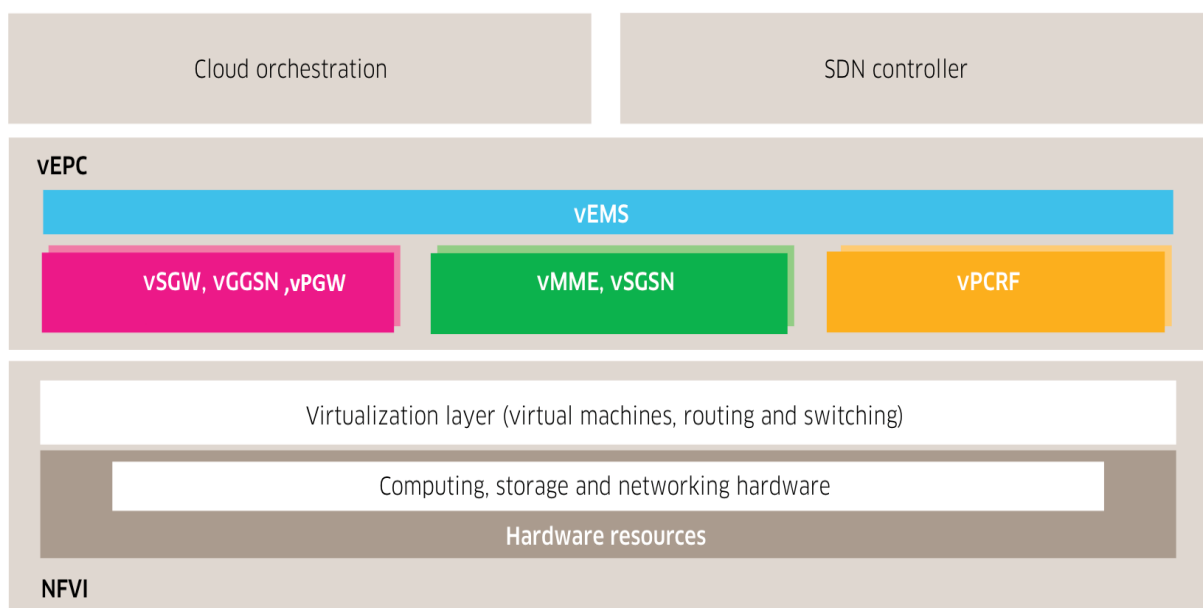


Figure 2.14 Architecture vEPC [13]

2.7.3 Les avantages du déploiement d'un vEPC :

La virtualisation est synonyme de simplification, en effet c'est une consolidation de plusieurs fonctions réseau dans une seule plate-forme. L'adoption du vEPC est donc avantageuse, citons quelques avantages :

- Réduction des coûts d'acquisition : le vEPC peut coûter beaucoup moins cher que l'EPC traditionnel.
- Réduction des coûts de maintenance : le vEPC peut réduire les coûts de conception, nécessite moins d'espace et est plus facile à maintenir.
- Flexibilité : le vEPC permet l'introduction rapide de nouveaux services.

- Agilité : le vEPC offre aux fournisseurs une mise à l'échelle de services élastique en fonction de trafic réseau et demandes des clients.

2.7.4 Le vEPC et l'IoT

Le vEPC permettra d'importantes nouvelles opportunités commerciales pour les opérateurs. Il participe notamment à la croissance du marché IoT.

Les applications IoT ont des exigences réseau très différentes que les Smartphones et tablettes qui prédominent dans les réseaux actuels. Toutefois les fournisseurs commencent à tirer parti du NFV pour construire des sections IoT spécifiques dans leurs réseaux mobiles avec de nouveaux vEPCs.

L'EPC virtuel est composé de plusieurs sous-éléments, les quels vont être utilisés dans différentes combinaisons pour les applications IoT spécifiques (SpecificIoT applications). Le vEPC donne aux opérateurs la possibilité de personnaliser de manière rentable leurs réseaux pour les différents clients (particulier, industriels), et applications qui sont critiques dans le monde diversifié de l'IoT.

2.7.5 Le vEPC et autres applications :

Plusieurs autres applications intéressantes rendues capables par l'EPC virtuel, citons d'ailleurs quelques-unes

- Réseaux mobiles spécifiques pour les entreprises
- Données mobiles haut débit
- Apparition de l'opérateurs MVNOs (Mobile Virtual Network Operators).

2.7.6 Challenges de mise en œuvre

Comme plusieurs nouvelles technologies complexes, l'EPC virtuel crée des challenges pour les opérateurs. Traditionnellement, les opérateurs mobiles sont reliés à un ou deux grands fournisseurs (ERICSSON, NOKIA, Alcatel-Lucent etc.) pour leurs déployer des réseaux cœurs. Ces derniers sont typiquement implémentés comme systèmes intégrés sur des plateformes hardwares optimisées.

L'intégration de nouveaux vEPCs avec les systèmes Mobile Core et les back-offices (OSS/BSS) existants sera difficile et peut nécessiter une personnalisation importante.

Plusieurs des grands opérateurs de téléphonie mobile ont déjà construit de nouveaux réseaux cœurs à haute capacité pour leurs déploiement 4G LTE, à noter que la plupart des déploiements vEPC seront soit pour des réseaux mobiles vierges ou pour des nouvelles applications, telles que IoT, distinct du réseau de téléphonie mobile traditionnel qui est optimisé pour le trafic Smartphone.

2.8 Description des paramètres de trafic du vEPC

2.8.1 Ps subscribers :

C'est le nombre d'abonnés qui dispose d'un service de données par paquets. On retrouve différentes type de souscriptions : 2G, 3G et 4G.

2.8.2 Simultaneously Attached Users (SAU)

Dans le dimensionnement des nœuds, SAPC (nom commercial du PCRF chez ERICSSON), SGSN-MME et du EPG, le SAU représente le nombre maximum d'abonnés attachés simultanément que peuvent assumer ces nœuds.

Par ailleurs le SAU est utilisé pour déterminer le nombre minimum des nœuds requis pour bâtir le réseau cœur.

2.8.3 IP sessions

C'est le nombre d'IP Sessions pour la 2G, 3G, 4G comportant le contexte PDP des 2G/3G plus les bearers LTE par défaut et dédié.

3.8.4 KPPS :

C'est le nombre de paquets par seconde portés par les nœuds vEPC. Les deux tableaux ci-dessous définissent les rapports qu'on a utilisés dans notre application:

kSAU/VM	Le nombre SAU supporté par une VM
kIP Sessions/ VM	La nombre d'IP Session supporté par une VM
Gbps/ VM	Le débit de données supporté par une VM
Kpps/ VM	Le débit de paquets supporté par une VM

kSAU/VM	Le nombre SAU supporté par une VM
kIP Sessions/ VM	La nombre d'IP Session supporté par une VM
Gbps/ VM	Le débit de données supporté par une VM
Kpps/ VM	Le débit de paquets supporté par une VM

On va également définir quelques termes :

VM : Virtual Machine en anglais, est un container logiciel bien isolé pouvant exécuter son propre système d'exploitation et des applications comme s'ils tournés sur un ordinateur physique. Pour une VM les ressources virtuelles telles que le CPU(s), RAM, disque(s) et les cartes d'interface réseaux sont attribuées, qui sont créés par un logiciel appelé hyperviseur. L'hyperviseur permet la création et exécution de l'ensemble des machines virtuelles dans une machine physique.

VNF : Virtual Network Function (terme de l'ETSI), c'est la virtualisation des fonctions réseau qui est un élément réseau déployé dans un environnement virtuelle. Exemple : le vEPG, le vSGSN-MME, vSAPC etc.

2.9 Conclusion

La virtualisation a permis de révolutionner le monde des réseaux et des télécommunications, par le passage du matériel au logiciel. On peut ainsi créer des machines virtuelles contenant diverses applications et fonctionnant sur une même machine physique. Ces machines virtuelles permettent la mise en œuvre des réseaux logiciels appelés aussi réseaux virtuels par l'interconnexion de ces différentes VM.

Nous avons vu dans ce chapitre les différents éléments qui permettent l'arrivé de ces nouveaux réseaux à savoir le Cloud qui contient les différentes VM, l'architecture SDN et NFV et ses différents éléments qui permettent le déploiement et l'exécutions des fonctions réseau désormais virtualisées.

Chapitre 3

L'optimisation

Energétique

Intelligente

3.1 Introduction

Traditionnellement , l'optimisation du matériel est considérée comme une solution privilégiée Pour économiser l' énergie en augmentant l'efficacité. Approche similaire a été adoptée pour Les dispositifs IoT et de nouveaux dispositifs à très faible consommation d'énergie ont été conçus. En utilisant technologies existantes, des versions plus efficaces et personnalisées ont été Développées, telles que Bluetooth lowenergy (BLE) [17]. Cependant , avec des milliards d'appareils connectés et communiquant sans interruption , le rôle des logiciels régissant les appareils devient tout aussi important.les appareils devient tout aussi important. Les études montrent qu'environ 80 % de l'énergie totale consommée par un système embarqué dépend du logiciel qui le gouverne. embarqué dépend du logiciel qui contrôle les appareils IoT[18,19]. Il a été observé qu'un logiciel non optimisé peut Il a été observé qu'un logiciel non optimisé peut mal piloter un matériel économe en énergie,ce qui entraîne une consommation d'énergie plus élevée. En outre, les dispositifs n'ont pas de système de retour d' information qui puisse indiquer la consommation d'énergie d'un algorithme spécifique.Avec la croissance fulgurante d'un nombre de nouveaux dispositifs IoT installés et exploités,les systèmes de mesure et de réforme de la consommation d' énergie sont de plus en plus nécessaires. de plus en plus nécessaires . Il existe trois contraintes majeures pour mesurer et optimiser la consommation d'énergie des dispositifs IoT [20,21] : x fabricants de matériel de produire des appareils IoT économes en énergie et aux programmeurs de logiciels de développer des systèmes économes en énergie. de développer des systèmes économes en énergie . En outre , la mise en œuvre de mécanismes de rétroaction avec des algorithmes d'optimisation dans les logiciels devrait minimiser la consommation d'énergie des systèmes IoT actuels.

3.2 Travaux antérieurs dans le domaine de l'optimisation énergétique de l'IdO

Peu de travaux ont été réalisés dans le domaine de l'optimisation de la consommation d'énergie des dispositifs IoT. l'optimisation de la consommation énergétique des systèmes (réseaux intelligents, industrie 4.0, villes intelligentes, etc. comme outil [22,23].

Compte tenu des milliards d'appareils interconnectés, leur consommation d' énergie ne peut être ignorée. l'optimisation en utilisant différentes modifications matérielles et,logicielles est nécessaire. Cette section couvre tout d' abord les études réalisées

Cette section couvre d'abord les études réalisées sur les aspects matériels de l'IdO et la deuxième section passe en revue les optimisations logicielles pour la conservation de l'énergie. L'étude des aspects matériels de la consommation d'énergie dans l'IdO est importante car le développement d'un système de gestion de l'énergie pour un essaim IdO est efficace. pour un essaim IoT n'est efficace que si le matériel désigné le supporte. Un matériel énergivore peut ne pas être le choix préférable dans un système d'essaimage IoT [24].

3.2.1. Aspects matériels de la gestion de l'énergie de l'IOT

La facette matérielle de la gestion de l'énergie comprend la conservation de l'énergie pendant la collecte des données, l'équilibrage de la charge, le processing local, le calcul, le stockage des données, la transmission, le routage, le contrôle de la congestion et la stabilité du chemin de liaison, etc. [25].

Des travaux significatifs ont importants ont été réalisés pour économiser l'énergie consommée par le matériel. L'un de ces travaux décrit un openZmeter comme un dispositif matériel à faible coût et à code source ouvert pour les applications à haute performance. L'un de ces travaux décrit un open Zmeter comme un dispositif matériel à faible coût et à source ouverte pour la gestion de l'énergie et de la puissance de haute précision [26].

Le dispositif comporte un composant frontal analogue qui est utilisé pour la mesure de haute précision des signaux de puissance. Ce dispositif peut être configuré avec des multi processeurs pour l'acquisition de données. L'openZmeter est un système open-source entièrement autonome qui est utilisé pour le calcul et l'interprétation des événements de qualité de l'énergie ainsi que pour l'acquisition de données interprétation des événements de qualité de l'énergie ainsi que la consommation d'énergie pour le schéma matériel mis en œuvre. Ce système peut être utilisé pour la mesure globale des dispositifs IoT inter connectés dans une large gamme des conditions de fonctionnement [27].

Les capteurs constituent le composant le plus important des systèmes IOT . Ces Capteurs Interconnectés sont constitués d'un module de batterie, module de détection (peut être un

thermocouple pour la détection de la température, un magnétomètre pour la direction, un phonocapteur pour la détection de la lumière, etc.), un système de traitement et un module de communication [28].

Les différents composants sont optimisés et dans ce regard, l'émetteur ZigBee a été conçu pour communiquer sur la bande 2,4 GHz en utilisant le moins d'énergie possible [29].

Le langage de description de matériel Verilog a été utilisé pour proposer la conception numérique de ZigBee incorporant les quatre blocs de construction, c'est-à-dire la redondance cyclique et la redondance de fréquence. Blocs de construction, à savoir le contrôle de redondance cyclique, le décalage en quadrature, le bloc bi symbole et le bloc symbole-puce. CKS, c'est-à-dire le contrôle de redondance cyclique, la quadrature de décalage, le bloc de bi à symbole et le bloc de symbole à puce. Un travail similaire d'optimisation de l'énergie matérielle pour les futures installations industrielles a été proposé sous le nom d'OpenMote [30].

Ce système était un système modulaire à matériel ouvert conçu pour réduire la consommation d'énergie et pour mettre en œuvre efficacement les normes IoT. Le matériel est conforme aux normes industrielles IoT telles que IEEE 6TiSCH. Le système proposé peut s'intégrer de manière transparente dans les configurations déjà en place tout en laissant un impact très faible sur la consommation d'énergie. L'un des problèmes qui accompagnent les conceptions matérielles plus simples et la faible consommation d'énergie est un compromis sur la sécurité [31].

Un système IoT non sécurisé peut affecter considérablement les performances d'un système. Afin de maintenir une sécurité robuste, le chercheur a présenté une mise en œuvre matérielle de l'algorithme de chiffrement par blocs ultra-léger en utilisant deux types différents de cœurs de cryptage supportant un niveau de sécurité élevé. Les Types de noyaux cryptographiques supportant une taille de bit de 80 [32].

Les cœurs ont été développés à l'aide de Verilog HDL et vérifiés sur un dispositif Virtex5 FPGA. Les résultats montrent qu'une fréquence d'horloge d'à peine 500 MHz pour le cœur de cryptage et de 444 MHz pour le cœur de décryptage était suffisante pour fournir des résultats satisfaisants. 444 MHz pour le noyau de décryptage était suffisante pour assurer la sécurité

requis. Les chercheurs ont proposé plusieurs autres techniques d'optimisation de l'énergie matérielle au niveau de la couche de détection de l'IdO [33,34].

Plusieurs auteurs ont proposé des algorithmes d'optimisation dans ce domaine et ont réduit la consommation énergétique globale grâce à leur algorithme. W.-L. Cho, K.-B. Kim, et K.W. Shin ont utilisé le chiffrement par blocs PRESENT sur du matériel léger et compact. compact et ont réduit la consommation d'énergie d'environ 16 %. Z. Jiang, B. Krishnamachari, X. Zheng, S. Zhou propose un ordonnancement décentralisé pour la mise à jour du statut dans les systèmes IOT. Il utilise le canal logiciel optimisé, ce qui devrait réduire la consommation d'énergie d'environ 16 %. Devrait réduire la consommation d'énergie d'environ 15 %. Zhai et Zhang utilisent une Technique spéciale d'allocation d'énergie pour les réseaux sans fil avec des dispositifs IoT massifs. Zhai et Zhang utilisent une technique spéciale d'allocation d'énergie pour les réseaux sans fil avec des dispositifs IoT massifs, et cette technique d'allocation d'énergie devrait réduire la consommation d'énergie de 17 %. Leur travail est basé sur la planification de l'activation et de la désactivation des capteurs [35].

Par exemple, pour un système de distribution d'eau, un système de capteurs économe en énergie, c'est-à-dire la détection compressive, a été proposée [36].

Au lieu d'une situation où tous les capteurs transmettent les données en continu, le système permet seulement à un petit sous-ensemble de capteurs de détecter et de transmettre les données selon le créneau horaire alloué. Au niveau des capteurs, les approches telles que la qualité de l'information et l'efficacité énergétique dans les environnements sensoriels de l'IdO présentent certaines limites. certaines limites, c'est-à-dire que le système ne peut fonctionner que dans des environnements statiques [37].

En outre, une solution robuste et économe en énergie a été solution ont été proposées en utilisant la simulation EPANET pour la gestion de l'eau [38].

Le système a été conçu avec une approche Le système a été conçu avec une approche de planification basée sur la détection compressive pour les capteurs. La limite de ce système est qu'il ne peut pas être utilisé pour la surveillance de toutes les applications différentes, telles que la surveillance de la production et de la consommation. toutes les applications différentes telles que la surveillance des unités de production ou des tunnels ,etc. Pour intégrer un système de transmission et de réception dans des capteurs sans fil, des microsystèmes ont été proposés pour

fournir une solution optimisée en termes d' énergie. Le système utilise une approche d'optimisation dynamique cross layer. La contrainte du système proposé est que la détection et la correction d'erreurs n'ont pas été n'a pas été prise en compte.

3.2.2. Facettes logicielles de la gestion de l'énergie IoT

L'objectif de la gestion de l'énergie des systèmes IOT est de réduire la consommation d'énergie des dispositifs IOT, qu'ils soient individuels ou en essaim. l'essaim de dispositifs IOT. De nombreux travaux ont été réalisés pour gérer les ressources énergétiques de l'IdO à l'aide d'optimisations logicielles pour les composants individuels [39,40].

Cependant, les études montrent que la " détection économe en énergie" reste l'un des défis de recherche les plus complexes. défis de recherche complexes Avant d'aborder .les systèmes intelligents en essaim pour l'IdO, nous posons les bases de l'optimisation énergétique. est posée ici. L'une de ces études s'est attachée à présenter une architecture pour l'IdO qui assure une utilisation économe en énergie des ressources. L'efficacité énergétique a été obtenue par un algorithme de prédiction qui utilise les variables telles que la qualité des informations requises, le niveau de batterie des capteurs et l'historique des utilisations précédentes [41].

Les autres variables telles que le facteur de conflit et le coefficient de variation ont été utilisées Pour résoudre les problèmes de chevauchement de la couverture des capteurs et de mesure de la déviation entre les valeurs actuelles et les dernières valeurs détectées, respectivement. Dernières valeurs détectées, respectivement. Les schéma a réussi à utiliser toutes les ressources de l'IdO de manière efficace .Dans un autre travail, les auteurs ont présenté un modèle théorique qui permet de gérer l'efficacité énergétique dans les configurations IOT du real world [42].

Le modèle développé comprend plusieurs types d'entités potentielles où chacune d' entre elles est associée à un dispositif (capteurs, actionneurs, etc. dans l'IDO) qui consomme ou produit l'énergie Le modèle a été divisé en liste T(types d'entités) et P-List (bibliothèque de protocoles). La liste P fait fonctionner les dispositifs de manière coopérative et efficace pour répondre aux exigences, ce qui réduit considérablement la consommation d'énergie .exigences, ce qui réduit considérablement la consommation d'énergie. Le modèle utilise une plateforme d'agents basée sur JADE, connue sous le nom de EMERALD pour les simulations. Les résultats montrent que

l'utilisation de l'IA dans le mécanisme de négociation du protocole permet de réduire considérablement la consommation d'énergie une réduction significative de la consommation d'énergie Dans une étude similaire, un regroupement économe en énergie des dispositifs IoT basé sur des règles floues adaptatives a été étudié [43].

Cette étude a également proposé un protocole de routage pour les réseaux de capteurs sans fil assistés par un système IOT. Une combinaison de la " Technique pour l'ordre of Préférence by Similarity to Ideal Solution" et " analytic hierarchy process" a été utilisée pour développer une approche décisionnelle adaptative floue multi variable. Cette approche a été utilisée pour la sélection de la tête de cluster optimale. L'étude montre une amélioration significative de la qualité des paramètres de service tels que le taux de perte de paquets, le taux de livraison de paquets, la latence, le taux d'erreur de bit, le débit, l'occupation de la mémoire tampon. Taux d'erreur binaire, le débit, l'occupation de la mémoire tampon et la durée de vie du réseau, etc. Une autre étude a été réalisée sur la consommation d'énergie équilibrée Une autre étude a été menée sur la consommation d'énergie équilibrée de l'IdO en utilisant un routage adaptatif pour les réseaux sans fil sous-marins [44]

Le système de réseau proposé fonctionne en trois étapes, à savoir une étape d'initialisation, étape de construction d'arbre et enfin l'étape de transmission des données. L'étape d'initialisation implique le partage des niveaux d'énergie résiduelle de chaque dispositif. La deuxième étape, c'est-à-dire la construction de l'arbre, identifie les nœuds voisins sélectionne les nœuds facilitateurs en fonction de leur coût. Sélectionne les nœuds facilitateurs en fonction de leur fonction de coût. Les résultats de la simulation de ce protocole ont montré que le réseau peut être plus efficace de 35 % plus efficace, D'autres études ont exploré les aspects du système IOT qui consomment de l'énergie, tels que les couches d'application, les configurations du système et les virtualisations du réseau [45]. Système et les virtualisations de réseau [46].

L'étude suggère également l'utilisation duFog computing qui est une infrastructure informatique décentralisée pour le calcul, le stockage et les applications. Cisco a déjà développé les architectures logicielles du Fog computing pour les applications IOT. Dans une étude Dans une étude similaire, la consommation d'énergie des dispositifs IOT a été évaluée et contrôlée à l'aide

de techniques de collecte d'énergie et d'informatique périphérique mobile et techniques de récolte d'énergie [47].

L'auteur a proposé une méthode de délestage basée sur l'apprentissage par renforcement, couplée à des techniques de récolte d'énergie pour conserver les niveaux de batterie. Techniques de récolte d'énergie pour conserver les niveaux de batterie. Les résultats ont révélé que le schéma de déchargement proposé, basé sur l'apprentissage par renforcement, réduit la consommation d'énergie proposé réduit la consommation d'énergie, le taux d'abandon des tâches et la Tence de calcul. Il existe plusieurs études qui se concentrent sur les applications de gestion de l'énergie en utilisant différentes architectures d'IA telles que. Comme le modèle Operateur Décision Environnement, les modèles k-nearest neighbors, Fuzzy Q- Learning pour la gestion multi-agents décentralisée de l'énergie et les architectures de systèmes cognitifs, etc. [48-49].

Les applications de décision des opérateurs se composent de quatre couches, à savoir la couche de base de données, la couche d'accès aux données , la couche d'application d'IA et la couche de décision .Les couches d'application d'IA supportent toutes les applications et outils du système d'IA qui Sont utilisés pour le diagnostic, la planification et la conception. Cependant, aucune de ces études n'a abordé le système de gestion de l'énergie pour les appareils IOT en utilisant la technologie de l'IA .Dans cet Thèse , je présente une architecture complète basée sur l'IA. qui sera utilisée pour la gestion efficace de l'énergie des dispositifs IOT sans détériorer les performances et la sécurité du système.

3.3. La transparence énergétique dans les dispositifs IOT

Cette section du recherche se concentre sur la conception de protocoles pour la transparence énergétique dans les dispositifs IOT. les chercheurs proposent également une nouvelle approche pour minimiser la consommation d'énergie des systèmes IOT à l'aide de protocoles de transparence énergétique et d'optimisation logicielle. Nous évaluerons également notre approche pour comparer ses performances avec d'autres approches connues. La transparence énergétique Permet de déterminer et de jauger l'énergie consommée par un dispositif IOT lors de la mesure des données, le traitement et la communication des données. Afin de permettre la

transparence énergétique, les spécifications suivantes doivent être respectées pour le dispositif IOT.

3.3.1. Consommation d'énergie et limitations Un système IoT

est divisé en quatre sections, à savoir l'acquisition de données de détection le gestionnaire d'énergie, le système de stockage d'énergie, le traitement et le système de communication. et le système de communication. Le flux d'énergie pour un tel système est modélisé en utilisant l'équation suivante :

$$\varepsilon_{IOT} (t) = \int_{\tau=0}^t P_{iot}(\tau) d\tau \leq \int_{\tau=0}^t P_{hrv}(\tau) d\tau + \varepsilon_{BAT}^{(t=0)} \dots\dots\dots(1)$$

Où le terme $\varepsilon_{IOT} (t)$ représente l'énergie totale requise par le dispositif IOT et t est le temps de fonctionnement. Dans l'équation (1), les deux énergies, à savoir celle stockée dans la batterie $\varepsilon_{BAT}^{(t=0)}$ et l'énergie récoltée par différentes techniques $\int_{\tau=0}^t P_{hrv}(\tau) d\tau$ doit être supérieure à L'énergie nécessaire au fonctionnement du dispositif IOT $\int_{\tau=0}^t P_{iot}(\tau) d\tau$

C'est le modèle général que tout appareil IOT suivra, quelle que soit sa consommation d'énergie L'appareil ne fonctionnera pas si l'énergie consommée est supérieure à la somme de l'énergie stockée et récoltée La quantité minimale d'énergie nécessaire au fonctionnement interne d'un dispositif IOT est calculée à l'aide de l' équation (2) ci-dessous :

$$P_{IOT} = P_{SEN} + P_{COM} + P_{PRO} + P_{FNC} \quad (2)$$

P_{IOT} : est la quantité minimale d'énergie requise pour faire fonctionner un dispositif IOT

est la somme de l'énergie consommée par capteur

P_{SEN} la communication

P_{COM} le traitement

P_{PRO} et d'autres fonctions telles que l'exécution du système d'exploitation, la sécurité et

Les opérations liées au matériel

P_{FNC} Pour la plupart des dispositifs IOT, le flux continu de données n'est pas nécessaire, comme par exemple la surveillance du niveau de l'eau, la surveillance de la vitesse du vent, etc. comme la surveillance du niveau de l'eau, de la vitesse du vent, de l'humidité, etc. Pour ces systèmes, une collecte et une communication intermittentes des données sont suggérées. et la communication de données sont suggérées. Cela éliminera les puissances P_{SEN} , P_{COM} , P_{PRO} laissant derrière elles P_{FNC} qui a une valeur minimale constante basée sur l'architecture matérielle. . La figure 3.2 montre la répartition de la consommation d'énergie par répartition temporelle des dispositifs IOT. La couche de base a une consommation d'énergie fixe La couche de base a une consommation d'énergie fixe, tandis que l'acquisition et le stockage des données sont effectués à intervalles rapprochés. Ces données sont traitées pour la communication. Et enfin, les données sont communiquées après un certain temps écoulé. Ce modèle réduit considérablement la consommation d'énergie car la consommation d'énergie maximale est constatée pendant les tâches de communication. La consommation électrique de base est due au matériel et au module ordonnanceur qui exécute les tâches de coordination et de synchronisation. L'activité systématique de contrôle du réseau est également réalisée par ce composant et l'énergie associée est consommée pendant ces processus. énergie associée est consommée pendant ces processus.

L'équation (2) peut être écrite sous la forme de l'énergie (ϵ) consommée par chaque processus comme suit.

$$\epsilon_{IOT} = \epsilon_{SEN} + \epsilon_{COM} + \epsilon_{PRO} + \epsilon_{FNC} \dots\dots\dots(3)$$

La section suivante fournit des détails sur chaque processus qui consomme de l'énergie :

3.3.2 Modélisation de la consommation d'énergie des capteurs

L'acquisition des données, c'est-à-dire la détection des paramètres requis, consomme de l'énergie. L'acquisition de données peut se faire soit à intervalles réguliers intervalles réguliers ou sur événement. L'énergie consommée par les éléments de détection peut être modélisée à l'aide des équations (4) et (5), respectivement pour les intervalles réguliers et les événements.(5) pour les intervalles réguliers et les événements,

$$\varepsilon_{SEN} = \varepsilon_{ONS}(N_{samples}) \dots \dots \dots (04)$$

$$\varepsilon_{SEN} = \varepsilon_{ONS}(N'_{samples})(T_{EVT}) \dots \dots \dots (05)$$

ε_{ONS} est l'énergie consommée pendant le processus de détection unique.

N est le nombre d'échantillons

T_{EVT} représente le nombre de déclenchements d'événements pendant des intervalles spécifiques. le nombre de déclenchements d'événements pendant des intervalles spécifiques

3.3.3 Modélisation de la consommation d'énergie des communications

La consommation d'énergie du réseau dépend de trois paramètres, à savoir la technologie de réseau, le temps de communication et la distance de communication. et la distance de communication. La consommation d'énergie généralisée d'un dispositif IoT pour la communication peut être modélisée par l'équation (6).

$$\varepsilon_{com} = \sum_{i=0}^{N(DATA)} \left(\left(\frac{\varepsilon_{DATA}}{T_{DATA}} \right) D_{DATA} \right) \dots \dots \dots (6)$$

D_{DATA} Représente l'énergie consommée pendant l'envoi de la quantité de données.

T représente la modulation du temps de transmission qui montre comment les données sont Réparties sur le temps T.

D_{DATA} est le facteur distance-énergie entre l'émetteur et le récepteur. Plus la valeur de La distance-énergie est élevée, plus ε_{com} est élevé. Ce modèle a certaines limites, comme le fait qu'il n'inclut pas l'atténuation des interférences causées pard'autres appareils à proximité. Une technologie IOT populaire est appelée réseaux étendus à faible puissance (LPWAN), Qui est souvent utilisée pour connecter des dispositifs IOT de faible puissance qui Communiquent de petits paquets de données sur une grande distance. Les Entreprises LoRa alliance et Sigfox ont été parmi les concurrents de longue date Dans les espaces LPWAN. Bien que les deux entreprises aient un objectif final similaire, à savoir que les opérateurs De réseau adoptent leur technologie pour les applications LPWAN, les technologies qui alimentent LoRa et Sigfox sont assez différentes. Alors que Sigfox etLoRa

fonctionnent sur les mêmes bandes de fréquence de 915 MHz aux États-Unis, la portée maximale de LoRa est de 10 miles, tandis que celle de Sigfox est de 4 miles en zone Urbaine et de 40 miles en zone rurale. En outre, tant Sigfox et LoRa utilisent tous deux la topologie STAR, mais transfèrent des données à des débits différents : LoRa a un débit moyen de 30 kbit/s, Sigfox transfère plus de 100 kbit/s. ϵ_{ons} En outre, LoRa utilise la modulation FSK tandis que Sigfox utilise la modulation UNB.

Les figures 3 et 4 présentent une comparaison de la consommation d'énergie entre les réseaux étendus à faible puissance (LPWANS), à savoir LoRa et Sigfox, respectivement. Sigfox respectivement. On peut observer sur les figures 3 et 4 que l'énergie consommée pour les mêmes distances et à intervalles égaux est plus importante dans LoRa que SIGFOX.

3.3.4 Modélisation de la consommation d'énergie de traitement

La fonctionnalité de base de l'IdO est limitée à certaines tâches orientées vers un objectif. L'énergie consommée pendant le traitement des données dans l'IdO a été adoptée et validée à partir de [41,42]. Le traitement des données implique la compression et le stockage pour la transmission. La compression des données dépend du taux de compression et de la complexité des algorithmes. Les études ont également inclus le terme d'erreur de compression tout en évaluant l'énergie consommée par les dispositifs IOT.

La modélisation de l'énergie pour la compression des données nécessite une description de haut niveau des algorithmes et des variables qui y sont impliquées. Les opérations arithmétiques sont appliquées à ces variables.

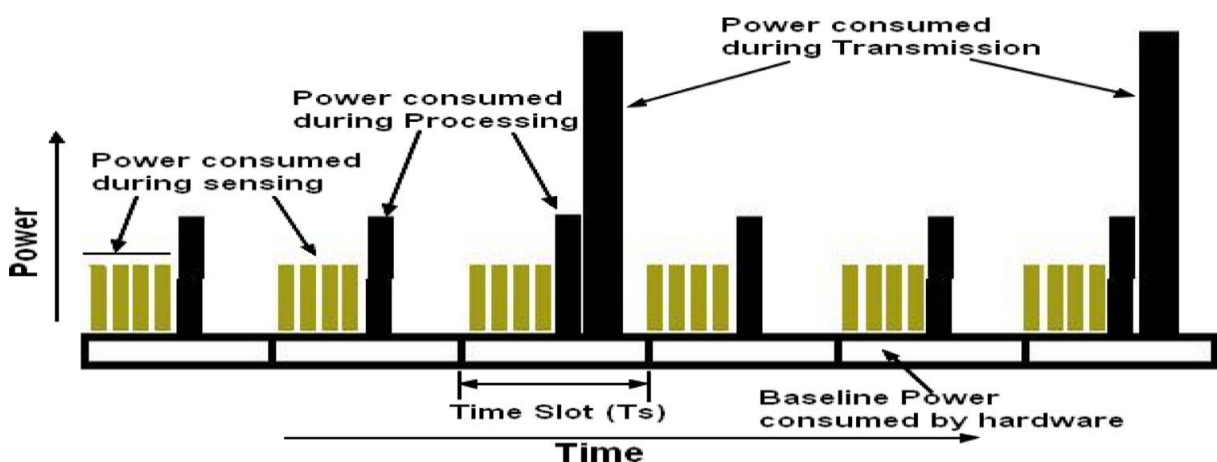


Figure 3.1 Répartition temporelle de la consommation d'énergie d'un dispositif IOT

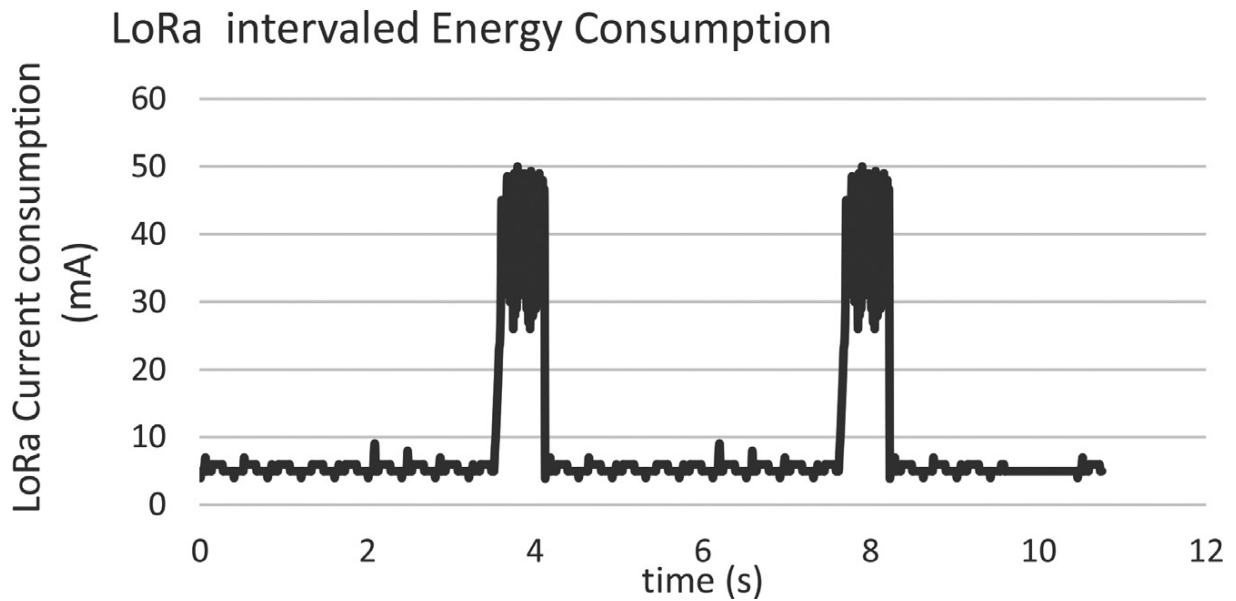


Figure 3.2 Consommation d'énergie LoRa par pas de temps

Ensuite mis en correspondance avec le nombre correspondant de cycles du microcontrôleur. Ces cycles sont déjà mis en correspondance avec la consommation d'énergie. Ce modèle devient non valide lorsque le microcontrôleur est impliqué dans des opérations non arithmétiques.

La modélisation de $\varepsilon(\text{FNC})$ n'est pas nécessaire car les valeurs restent constantes sur la période de temps comme le montre la figure 2. Les valeurs constantes sont insérées dans l'équation (3) pour évaluer les consommations totales d'énergie.

Ce modèle aide à calculer l'énergie consommée par un seul dispositif IOT sur une certaine période. La section suivante du document est consacrée à la gestion de la consommation d'énergie d'un essaim de dispositifs IOT à l'aide de techniques basées sur l'intelligence artificielle.

3.4 Gestion de l'énergie IOT basée sur l'IA

Avec des millions d'appareils en place, il deviendra impossible de suivre, surveiller et gérer leur fonctionnement manuellement ou en utilisant des méthodes générales de contrôle, à moins de consommer une quantité significante d'énergie et de puissance de traitement. Les

techniques basées sur l'intelligence artificielle (IA) apprennent des événements et améliorent le rendement, la productivité et l'efficacité énergétique sans intervention humaine. Cette étude utilise les systèmes de logique floue adaptative en temps réel basés sur l'apprentissage par renforcement couplés à des algorithmes génétiques pour optimiser la consommation d'énergie d'un essaim de dispositifs IOT. Ce système permet d'atteindre un équilibre entre la consommation d'énergie et les paramètres de performance de l'IdO. Ce système est destiné à surveiller et à contrôler les dispositifs IOT de sorte que la détection et le partage des données ne soient effectués que lorsqu'ils sont nécessaires, ce qui minimise la consommation d'énergie et les coûts opérationnels.

L'élément central de ce système est un agent intelligent qui a la capacité, la connaissance Et l'intelligence de s'adapter à l'environnement afin d'atteindre les objectifs fixés. La fonction d'un agent dans ce système est de prendre les données des dispositifs de détection et d'utiliser un système de raisonnement pour générer des actions appropriées pour modifier le comportement des dispositifs de détection afin d'optimiser la consommation d'énergie. L'agent intelligent de conservation de l'énergie mesure les consommations d'énergie par rapport aux performances du système et modifie les points de consigne des contrôleurs en utilisant des techniques de logique floue. Il y a trois entrées de

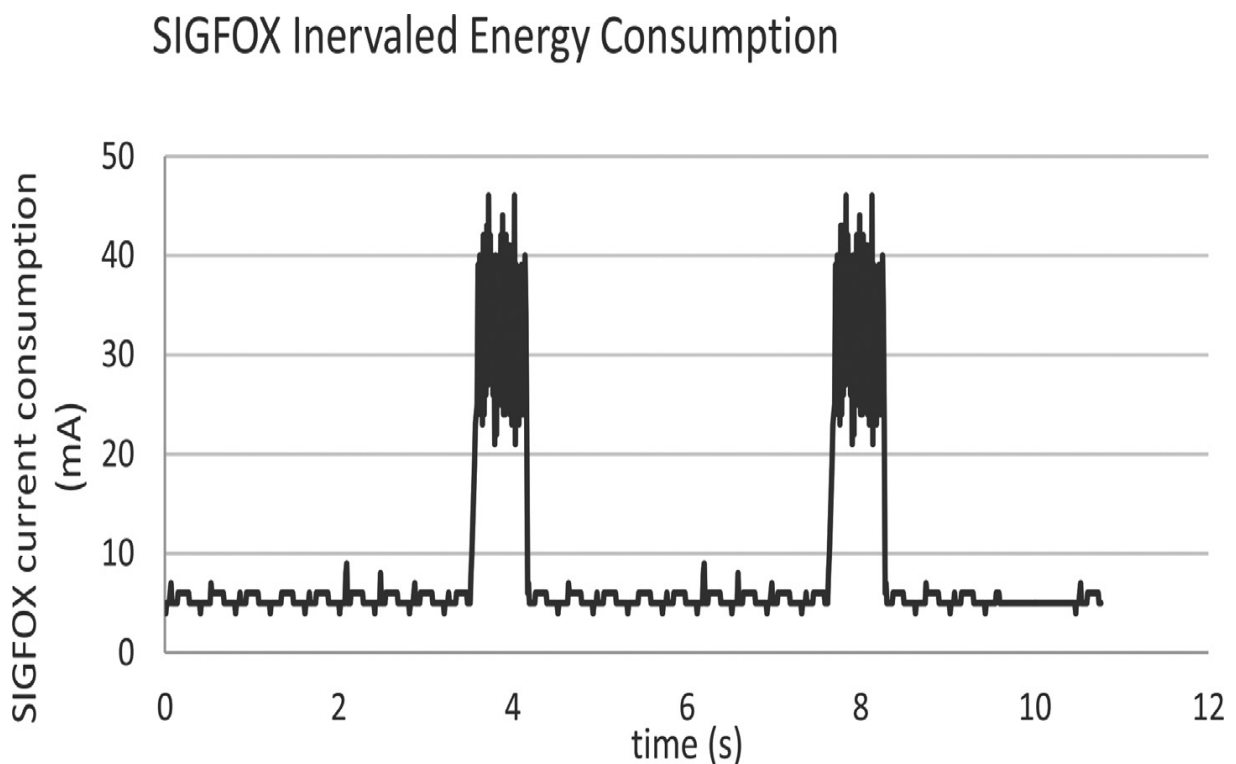


Figure 3.3 Consommation d'énergie de SIGFOX en temps réel

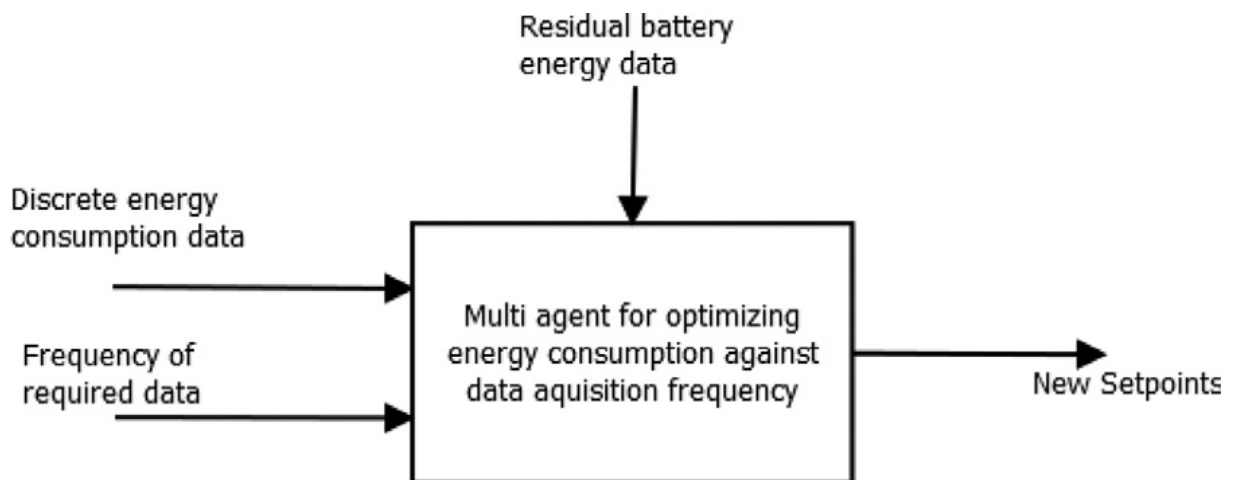


Fig 3.4 Schéma fonctionnel de l'agent intelligent pour la conservation de l'énergie de l'IdO

ce système, c'est-à-dire la fréquence des données requises, la consommation d'énergie $\varepsilon(k+1)$ et les niveaux de prédiction et de batterie. La sortie de ce système est basée sur un apprentissage renforcé qui optimise la consommation d'énergie en employant des systèmes de logique floue adaptative en temps réel couplés à des algorithmes génétiques.

Ce système utilise un multi-agent pour la réconciliation de l'énergie et la fréquence des données requises. La figure 3.5 montre le schéma fonctionnel de l'agent intelligent qui réconcilie l'énergie avec la fréquence des données en utilisant des règles floues. Le bloc de construction de l'IA pour la gestion de l'énergie d'un essaim de dispositifs IOT est un ensemble flou dont le caractère flou peut être réduit pour obtenir un ensemble flou de niveau α du sous-ensemble X comme suit :

$$\begin{cases} X^\alpha = \{X(b) \text{ if } X(b) \geq \alpha \\ 0 \text{ otherwise} \end{cases} \dots\dots\dots(07)$$

Il peut également être représenté comme dans l'équation (7) ci-dessous

$$X^\alpha \equiv \{ (b, \mu_x(b)) \mid b \in X^x \} \dots\dots\dots(07)'$$

Au cours de chaque itération, le flou de niveau α calcule les grades d'appartenance des paramètres d'entrée et sont symbolisés par le vecteur μ . Dans la méthode des ensembles flous discrets 3-D, ces grades déterminent le point dans le cube.

Soit λ l'ensemble de trois entrées c'est-à-dire

$$\lambda = \{ \mu_r, \mu_d, \mu_f \}$$

où μ_r, μ_d, μ_f sont les vecteurs pas de la batterie résiduelle, de la consommation d'énergie discrète et de la fréquence des données requises. Ces vecteurs pas sont calculés à l'aide d'ensembles flous de niveau α .

Le sous-ensemble flou "v" définis le vecteur pas dans l'équation (8) :

$$v = (\mu_r, \mu_d, \mu_f) \in L^3 = [0 \ 1]^3 \tag{08}$$

$$\mu_v[\tilde{v} \ v] \in [0 \ 1]^3 \tag{09}$$

Dans l'équation (9),

μ_v Représente l'ensemble des intervalles c'est-à-dire l'ensemble des nombres réels. Les deux termes \tilde{v}, v représentent les bornes supérieure et inférieure.

En utilisant des ensembles flous α -cut, la fonction d'appartenance

μ_v a été évaluée. Pour $\lambda = 1$,

l'ensemble flou cube aura l'origine (1, 1, 1) avec un équilibre optimal entre trois entrées et la sortie désirée, c'est-à-dire la conservation de l'énergie est mesurée en utilisant la mesure d'égalité floue symétrique dans l'équation (10).

$$F(v, \lambda) = \mu_v(m) = Degree(v = \lambda) = \frac{\sum_{i=1}^3 \text{minimum}(v_i, \lambda_i)}{\sum_{i=1}^3 \text{maximum}(v_i, \lambda_i)} \tag{10}$$

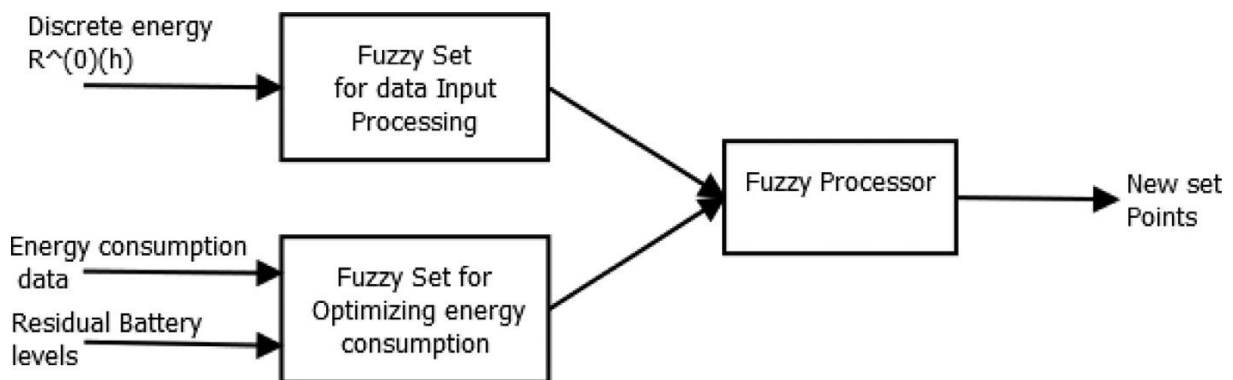


Figure 3.5 Fonction d'appartenance des entrées et des sorties du contrôleur flou

Où, m représente le pas de temps aléatoire. L'égalité floue "F" mesure le degré auquel les deux ensembles flous sont identiques. Pour que les deux ensembles soient non vides, l'égalité floue donne la valeur 0 pour les ensembles inégaux et 1 pour les ensembles égaux.

L'égalité de ces ensembles flous est la première étape vers l'optimisation et la prédiction de la consommation d'énergie. La consommation d'énergie en un jour pour un dispositif IoT pour prédire le comportement de consommation d'énergie est importante dans le système proposé. On utilise ici la méthode de prédiction de l'énergie grise qui fonctionne sur la base de l'équation différentielle d'ordre première. Le système gris utilise une quantité très limitée de données pour prédire le comportement. L'énergie est supposée être une séquence de données discrètes. Les étapes du modèle gris pour la prédiction de l'énergie sont données ci-dessous :

Etape-01 : La série de données brutes originales (R) avec un nombre n d'échantillons est représentée par Eq . (11)

$$R^{(0)}(h) = [R^{(0)}(1), \dots \dots R^{(0)}(2), \dots \dots R^{(0)}(3)], n \geq 5 \quad (11)$$

Remarque : Dans l'équation ci-dessus, l'exposant (0) représente la série originale

Étape 02 : Les données brutes sont prétraitées pour générer une autre séquence $R^{(1)}(h)$. Le prétraitement implique les opérations génératrices accumulées de premier ordre (y) qui abaissent le caractère aléatoire des données brutes. Cela génère une séquence régulière comme suit :

$$R^{(1)}(h) = yR^{(0)} \sum_{n=1}^h R^{(0)}(g), h = 1, 2, 3, \dots \dots n \quad (12)$$

$$R^{(1)}(h)=[R^{(1)}(1), \dots \dots R^{(1)}(2), \dots \dots R^{(1)}(g)] \quad (13)$$

Étape 3 : .Dans la troisième étape, l'équation différentielle grise est introduite

$$R^{(0)}(k) + a_g(d(1)_{(h)}) = u_g \quad (14)$$

Ici, $d^{(1)}(k)$ est obtenu en calculant la moyenne de $R^{(1)}(h)$ comme suit :

$$d^{(1)}(k) = MEAN. R^{(1)}(h) = \frac{1}{2} [E^1(k) + R^{(1)}(k - 1)], k \geq 2 \quad (15)$$

La solution de l'équation est trouvée en utilisant la méthode de l'erreur quadratique moyenne la plus faible.

Étape 4 : La méthode des moindres carrés fournit les valeurs de b_g et y_g . Ces valeurs sont ensuite substituées dans l'équation (11) comme suit :

$$R^{(0)}(h + 1) = (E^{(0)}(1) \frac{b_g}{y_g}) e^{-b_g(h-1)} (1 - e^{-b_g}) \dots\dots\dots (16)$$

On en déduit l'équation suivante :

$$\hat{R}(h + 1) = \hat{R}^{(0)} (h + 1) \dots\dots\dots(17)$$

La relation obtenue ci-dessus est utilisée pour économiser la consommation d'énergie de l'IOT à l'aide d'un processus de décision.

La figure (3.5) montre les fonctions d'appartenance d'entrée et de sortie du neurone du réseau neuronal IA utilisé pour optimiser la consommation d'énergie de l' IOT .

Le comportement de conservation de l'énergie pour un dispositif IOT de niveau individuel est donné comme suit :

$Y^{(1)}$: si $\hat{R}(h + 1)$ est élevé (il n'y a aucun effet des valeurs de μ_v , qu'elles soient faibles ou élevées), le mode 4 est utilisé .

$Y^{(2)}$: si $\hat{R}(h + 1)$ est faible et que μ_v est également faible, le mode 1 est utilisé.

$Y^{(3)}$: si $\hat{R}(h + 1)$ est moyen et (il n'y a pas d'effet des valeurs de μ_v soit faible ou Elevé) le mode 3 est utilisé.

$Y^{(4)}$: si $\hat{R}(h + 1)$ est faible et μ_v est élevé, le mode 2 est utilisé.

Les modes 1, 2, 3 et 4 sont définis comme suit :

$$\left\{ \begin{array}{l} \text{Mode - 1: } (EC)_{new} = (EC)_{initial} , (DA)_{new} = (DA)_{initial} \quad . (18) \\ \text{Mode - 2: } (EC)_{new} = (EC)_{initial}(a_1) , (DA)_{new} = (DA)_{initial} \pm b_1 . (19) \\ \text{Mode - 3: } (EC)_{new} = (EC)_{initial}(a_2) , (DA)_{new} = (DA)_{initial} \pm b_2 \dots (20) \\ \text{Mode - 4: } (EC)_{new} = (EC)_{initial}(a_3) , (DA)_{new} = (DA)_{initial} \pm b_3 \dots (21) \end{array} \right.$$

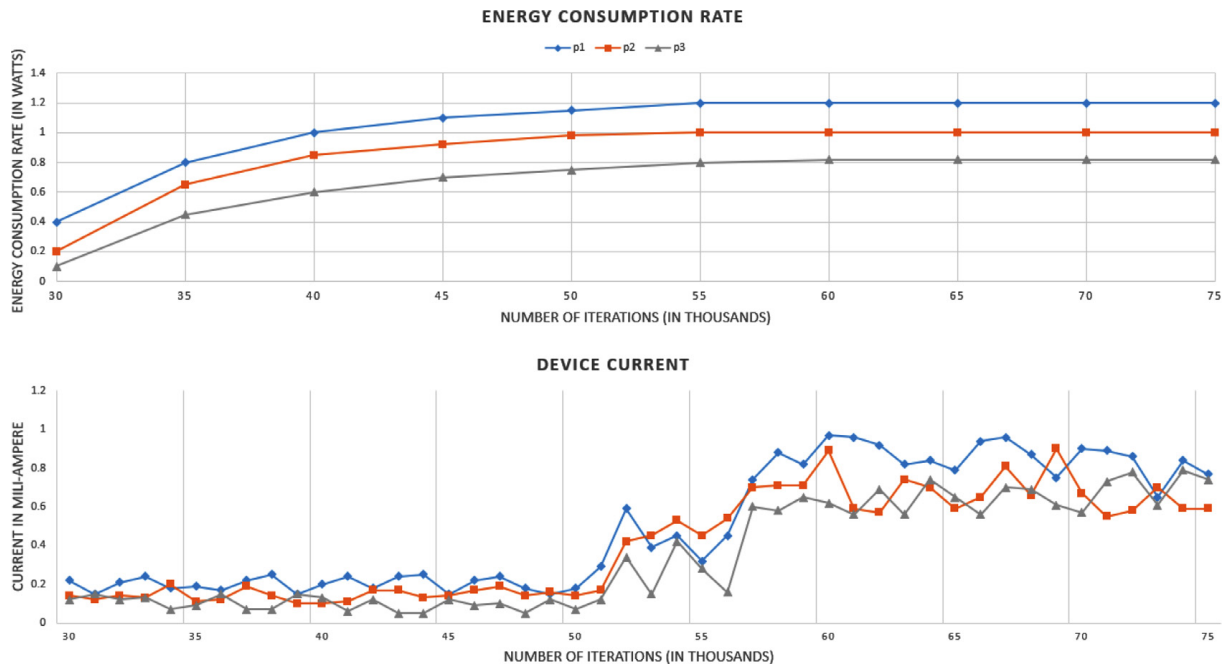


Figure 3.6. Résultats du modèle d'IA distribuée multi-agents pour la consommation d'énergie

Le signe positif et négatif signifie respectivement l'énergie résiduelle et la consommation d'énergie correspondante. Les constantes, a_1 , a_2 , , a_3 représentent l'énergie consommée pendant le traitement, la transmission et la détection.

EC représente la consommation d'énergie et DA représente la fréquence d'acquisition des données correspondante.

Les paramètres, b_1 , b_2 et b_3 représentent les changements requis dans les entrées pour réduire la consommation finale. Les paramètres b_1 , b_2 et b_3 représentent les changements nécessaires dans les entrées pour réduire la consommation d'énergie finale. Ces paramètres peuvent être optimisés en utilisant un réseau neuronal ou des techniques d'algorithme génétique utilisées dans les problèmes d'intelligence artificielle. La simulation du système multi -agent a été réalisée sur le logiciel MATLAB Simulink. Afin de modéliser l'essaim d' IoT présent dans un scénario urbain avec mise en œuvre dans des installations domestiques, commerciales et industrielles, le logiciel OpenModelica a été utilisé. Le réseau de capteurs IOT a été simulé sur MATLAB Simulink. Pour contrôler, surveiller et évaluer le cadre multi-agents et la simulation dynamique des modèles, le logiciel JOBO est utilisé. et la simulation dynamique des modèles, l'outil Jadex a été utilisé. La conscience de la pertinence de Belief -Desire - Intention (BDI) a

été créée pour chaque modèle développé. . Le BDI crée ensuite le réseau de communication à la fois en amont et en aval. Les dispositifs IOT utilisent ce réseau de communication pour communiquer sur le modèle de simulation. OpenModelica et MATLAB Simulink traitent tous deux cette communication différemment. MATLAB Simulink ne prend en charge qu'une seule connexion par instance. A été utilisée

- 1 Pour un modèle, une instance de Simulink a été exécutée.
- 2 Le modèle a été conçu pour intégrer la communication par canal arrière qui établit le lien entre les dispositifs IOT, construire le modèle et l'interface de communication. OpenModelica prenant en charge plusieurs connexions à la fois,

la procédure adoptée a été la suivante :

- 1 Une seule instance a été exécutée pour tous les modèles simulés dans OpenModelica.
 - 2 Les dispositifs IOT ont reçu des connexions distinctes pour l'interface de communication.
- L'architecture a également fourni un back Channel pour les modèles simulés.

L'exécution de ce modèle permet la création et la destruction d'agents gérés dynamiquement sur un service centra contrôlé par la plateforme Jadex. Lorsque le modèle est débranché, tous les agents sont détruits. La plateforme Jadex utilise une architecture qui supporte un composant de service. Les agents développés interagissent entre eux en utilisant ces services. Le type de protocole de communication supporté par le dispositif IOT respectif est également simulé dans l'environnement, comme Bluetooth et WLAN.

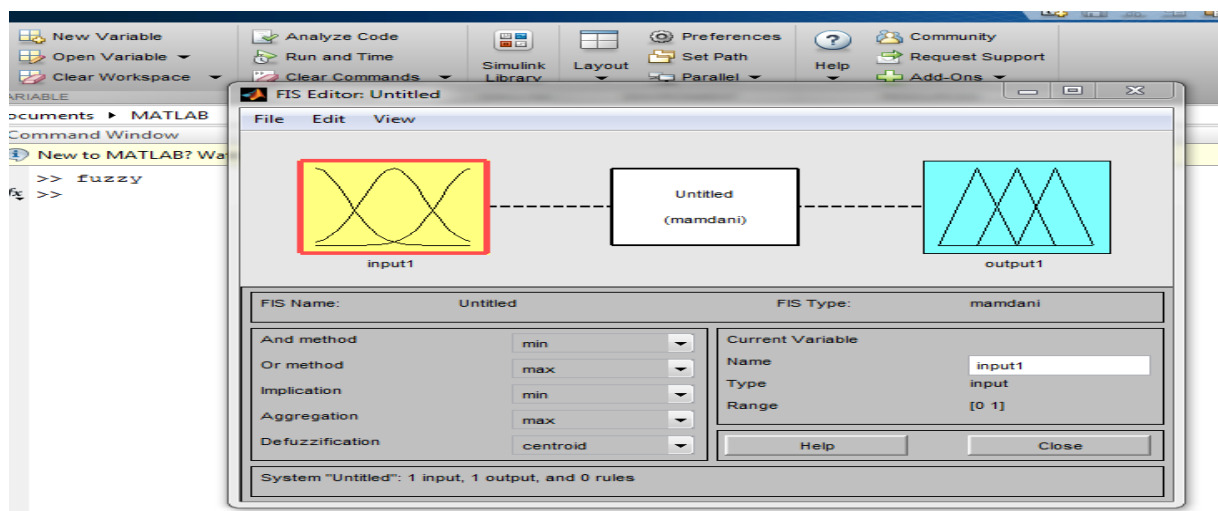


Figure 3.7 fuzzy conception

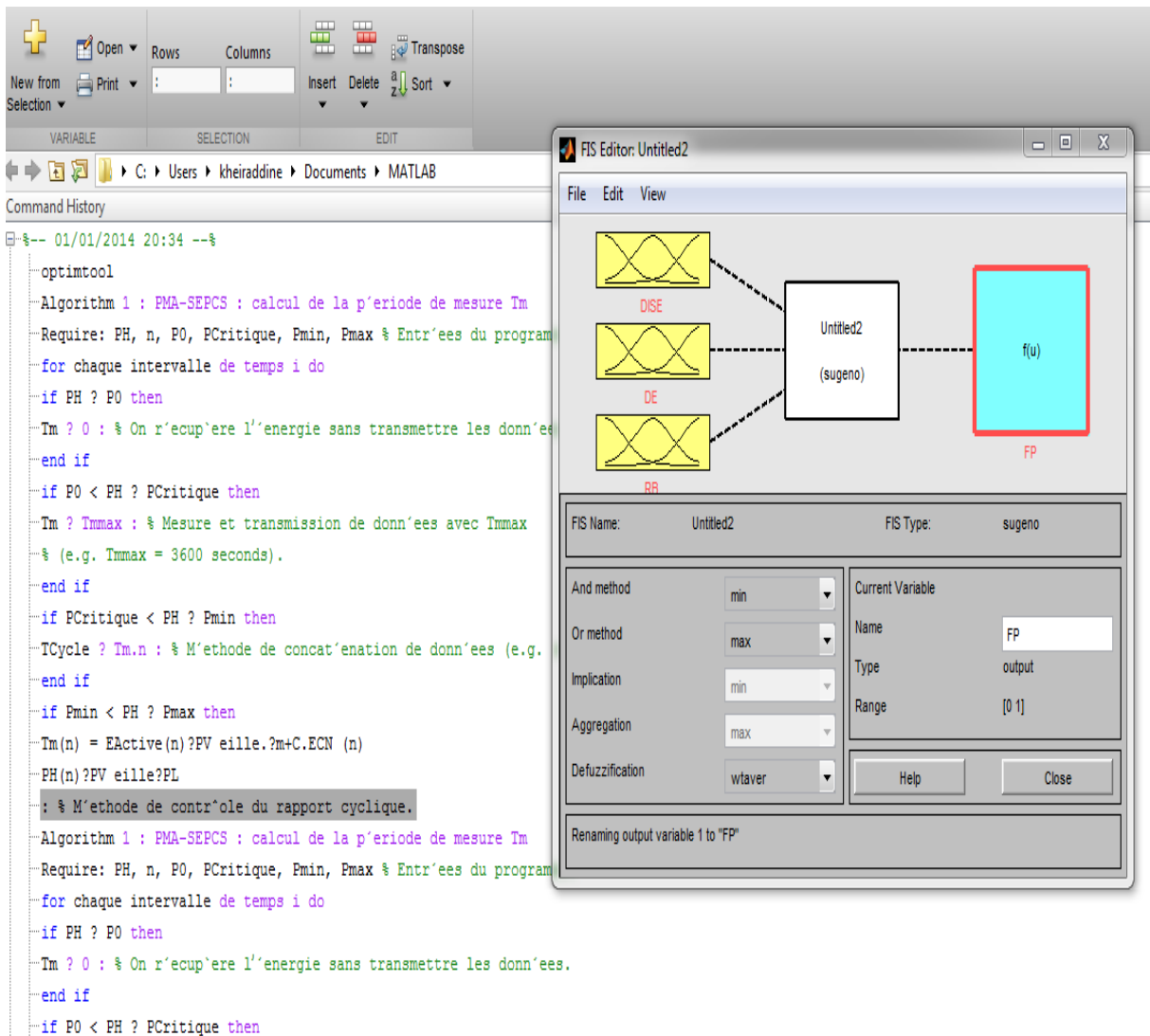


Figure3.8 Fonction d'appartenance des entrées et des sorties du contrôleur flou sur Matlab fuzzy avec programme d'optimisation

3.5. Résultats de la simulation

Un mécanisme de rétroaction discuté dans la section B pour la consommation d'énergie de l'IdO est également mis en œuvre dans la simulation. Tous les agents intègrent le mécanisme de retour d'information provenant des dispositifs IOT. Les agents optimisent la consommation d'énergie en observant la nécessité par rapport à la fréquence des données transmises sur le réseau de communication. Lorsque des données similaires sont reçues et traitées sur une période, les algorithmes d'apprentissage renforcé réduisent la communication au point où elle est très nécessaire. Les intervalles entre les communications sont augmentés et finalement, un déclenchement de la communication basé sur des événements est adopté par les agents intelligents proposés.

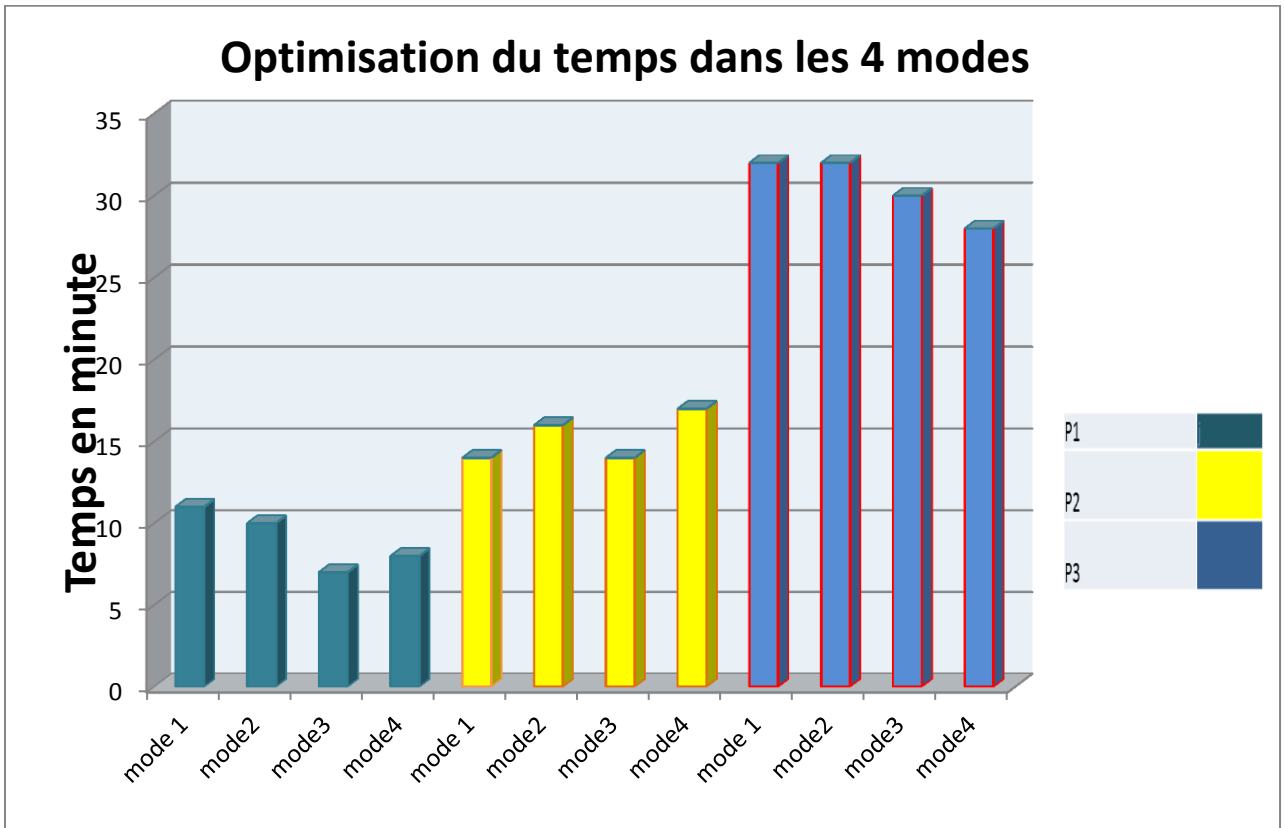


Figure 3.9 Optimisation du temps dans les 4 modes

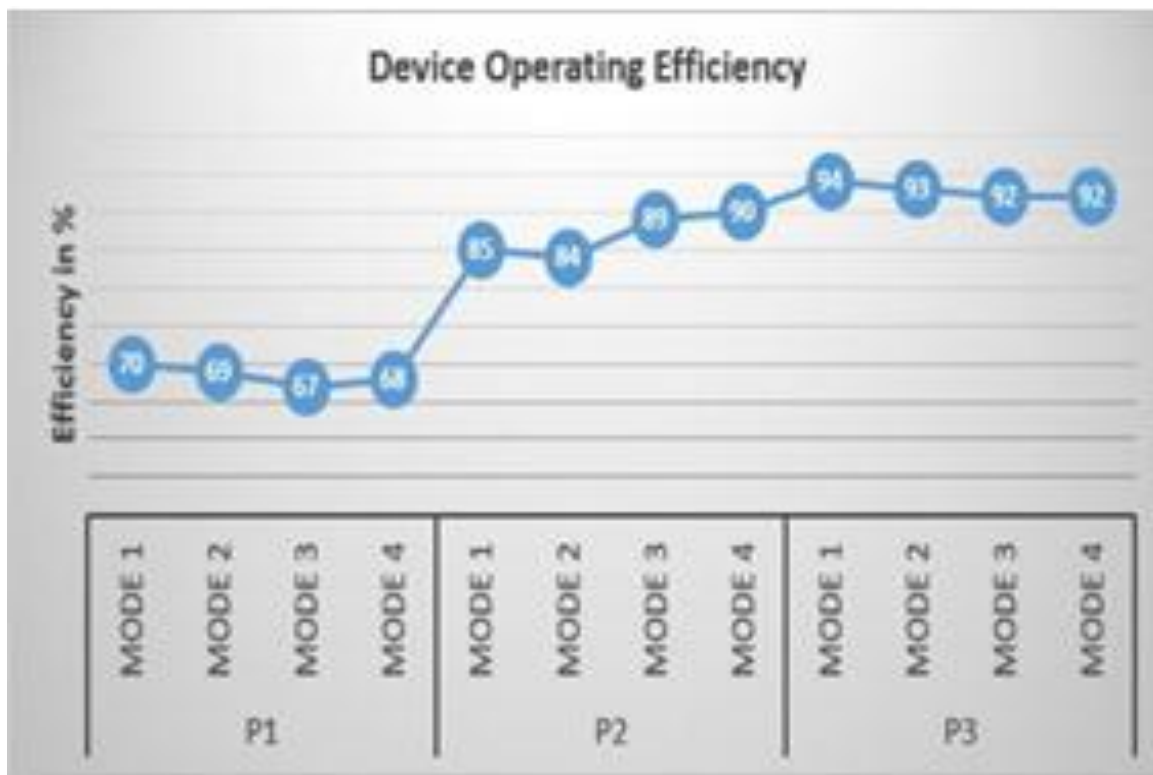


Figure 3.10 efficacité de fonctionnement de l'appareil

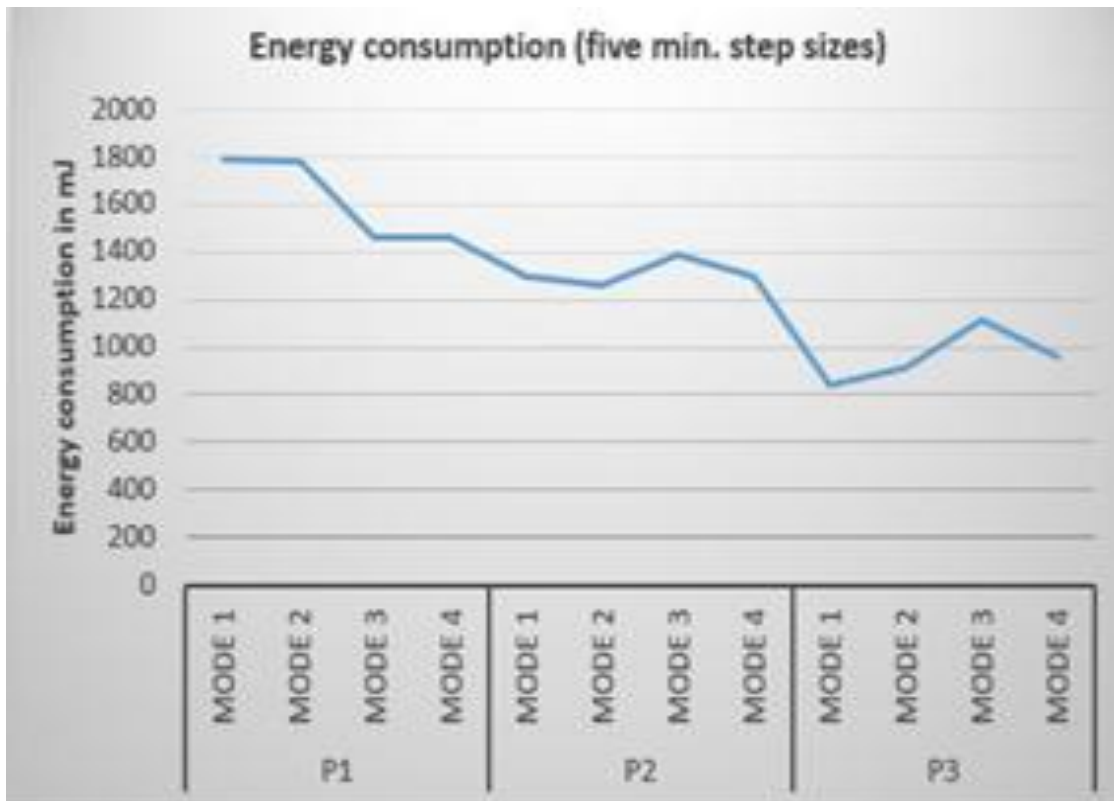


Figure 3.11 Consommation d'énergie IOT EN 4 mode

Fig. 3{9.10.11} Temps d'optimisation, efficace de fonctionnement et consommation d'énergie pour les trois sources d'énergie fonctionnant dans quatre modes.

L'utilisation de systèmes multi-agents a donné lieu à un environnement intelligent distribué qui a contribué à la gestion efficace de l'énergie d'un essaim de dispositifs IOT. Gestion efficace de l'énergie d'un essaim de dispositifs IOT. Les métriques basées sur l' algorithme utilisées pour mesurer la conservation de l'énergie montrent une amélioration significative de la conservation de l'énergie et de la stabilité robuste après 55 000 itérations, comme le montre la Figure 3.6. Nous constatons une moyenne de 19% de réduction du taux de consommation d'énergie entre les sources d'alimentation consécutives en passant de p1 à p3.source d'alimentation.

Dans la figure 3.6, les paramètres P1, P2 et P3 représentent les trois sources de consommation d'énergie examinées dans la section B. Il est évident que le graphique montre qu'après 55 000 itérations, le modèle peut réduire et stabiliser la consommation d'énergie de l'IdO. Il ressort clairement du graphique qu'après 55 000 itérations, le modèle peut réduire et stabiliser la consommation d'énergie des dispositifs IoT.et la stabiliser. De plus, le taux de consommation

d'énergie reste stabilisé même après qu'un dispositif IOT fonctionne à sa pleine capacité et un courant plus élevé.

La figure 3.9 représente le temps d'optimisation total en minutes, l'efficacité de fonctionnement de l'appareil et la consommation d'énergie totale pour chaque étape de cinq minutes avec les trois sources d'énergie fonctionnant dans quatre modes différents. pas de cinq minutes avec les trois sources d'énergie fonctionnant dans quatre modes différents. Dans notre évaluation avec la première source d'alimentation (P1), nous avons appliqué l'approche d'optimisation traditionnelle OneNote en utilisant le matériel et avons observé la plus faible efficacité de fonctionnement. Lors de l'évaluation de la deuxième source d'énergie (P2), nous avons appliqué l'approche d'optimisation logicielle JADE basée sur le simulateur EMERALD. Avec cela, nous avons vu une amélioration de l'efficacité opérationnelle et une réduction de la consommation totale d'énergie par pas de temps.

Consommation d'énergie totale par pas de temps. Dans l'évaluation avec la troisième source d'énergie (P3) sur les quatre modes de fonctionnement, nous avons utilisé notre algorithme génétique multi-agents. Algorithme génétique multi-agents et avons observé une optimisation supérieure avec une moyenne de 23% de l'efficacité de fonctionnement et une réduction moyenne de 40% de la consommation totale d'énergie. une réduction moyenne de 40 % de la consommation totale d'énergie. En outre, le système multi-agents pour le contrôle et l'optimisation de la consommation d'énergie montre des améliorations significatives dans la stabilisation des consommations d'énergie d'un essaim de dispositifs IOT.

3.6 Conclusion :

Cette étude englobe le problème imminent à savoir la consommation d'énergie des dispositifs IoT. Avec des milliards de ces dispositifs opérant constamment et transmettant et recevant des données, il était nécessaire de développer un modèle qui peut organiser et contrôler la consommation d'énergie de ces dispositifs. L'étude est concentrée à la fois sur l'aspect matériel et l'aspect logiciel de la consommation d'énergie. Les aspects matériels de la consommation d'énergie ont été divisés en quatre grandes parties. Les modèles pour chaque partie ont été développés et peuvent être utilisés pour évaluer la consommation d'énergie globale. L'aspect logiciel de la consommation d'énergie introduit le système intelligent distribué multi agent

contrôlé sous algorithme génétique. D'abord, l'agent intelligent a été développé et ensuite les paramètres de ces agents ont été optimisés en utilisant un algorithme génétique. Il peut être conclu de cette étude que pour un système de gestion d'énergie efficace du dispositif IoT, la modélisation et le contrôle sont très nécessaires, sinon, les dispositifs IoT non gérés seront un énorme fardeau pour les réseaux électriques.

Conclusion Générale

Conclusion Générale :

Afin de concevoir et de produire des objets de communication indépendants de l'énergie, nous recommandons Une méthode appelée SO-IOT (smart optimization – Internet of things). Cette méthode s'écrit comme suit :

-Sélectionnez l'application souhaitée et définissez toutes les contraintes :

parmi ellesL'application que nous avons citée comme exemple de smart city management (gestion Infrastructures urbaines), connexion de mouvement ; contrôle des ouvrages d'art

(Ponts, quais, barrages, tunnels); grandes structures mobiles (avions, navires, métros); surveillance vidéo Et vêtements connexes; etc. Dans ce cas, définir toutes les contraintes

Correspondantes sont essentiels pour démarrer la phase de conception et de développement des nœuds de capteurs IOT.

— Choisissez le bon protocole de communication : Le choix de la technologie de communication est essentiel à la conception des nœuds de capteurs. La sélection est basée sur divers paramètres de base liés à l'application sélectionnée. Ces paramètres incluent la portée de communication, le taux de transmission et l'autonomie de puissance.

-Modélisation de la consommation d'énergie des objets IOT : Après avoir déterminé l'application et le protocole de communication, nous pouvons modéliser la consommation d'énergie des capteurs sans fil. Cette modélisation permet de comprendre les besoins énergétiques des composante IOT en fonction des contraintes applicatives. -Sélection de l'alimentation : Dans ce cas, l'utilisateur décide quelle alimentation utiliser. Pour les systèmes de communication et les réseaux des employés situés dans des endroits inaccessibles, la récupération d'énergie peut être une solution associée.

-Gestion énergétique du système proposé : La gestion de l'énergie est au cœur de tous les travaux. Il s'agit de développer des méthodes de gestion de l'énergie appropriées pour minimiser la consommation d'énergie par l'optimisation avec des systèmes multi agents et prolonger sa durée de vie. Il est à noter que les algorithmes de modélisation et d'optimisation développés peuvent être utilisés pour réaliser des démonstrateurs de capteurs autonomes en communication et en énergie. Pour cette raison, la méthode So -IOT peut être un candidat potentiel pour les futurs objets de connectée.

Bibliographies

[01] M.Han and H.Zhang, “Business intelligence architecture based on internet of things,” *Theoretical & Applied Information Technology*, vol. 50, no. 01, pp. 90–95, 2013.

[02] P.-J. B. C. F.Massit-Folléa, S.Bureau and S. Davidson, “L’internet des objets: quels enjeux pour l’europe, Ed. de la maison des sciences de l’homme ‘ed,” p. 60, 2009.

[03] M. Weill and M. Souissi, “L’internet des objets: concept ou réalité ?, dans réalités industrielles, eska, Ed., les annales des mines. eska,” pp. 90–96, 2010.

[04] D. Evans, ”L’Internet des objets Comment l’évolution actuelle d’Internet transforme-t elle le monde? “. Avril 2011.

[5] J. D. Pessemier, ”Une réflexion sur L’internet des Objets (IdO) ou Internet of Things (IoT)”. 2015.

[06] B. Gainiers, ”Président de PwC France et Afrique francophone”.

[07] :Yannick Bouguen, Eric Hardouin, François-Xavier Wolff. « LTE et les réseaux 5G » Edition Eyrolles, Paris, 2019

[08] 1. Taoufik Bouguera, Jean-Fran,cois Diouris, Guillaume Andrieux et Jean-Jacques Chaillout ; Gestion d’énergie d’un capteur communicant en Lora. Colloque IoT, Nov. 2018, Angers, France.

[09] : https://s.nsit.com/fr01/fr/content/shop/netgear/la_virtualisation_de_serveurs.pdf

[10] : Guy Pujolles. « Réseaux Logiciels ». Edition ISTE, Paris, 2015.

[11]:http://www.medinsoft.com/website/custom/module/cms/content/file/Ce_qu_il_faut_savoir_sur_le_Cloud....pdf Consulter le 30-02-2021 01h20

[12] :<http://www.business-review.eu/featured/cloud-cover-increasing-42420/attachment/cloud-computing-virtual-machine-motion> Consulter le 30-02-2021 01h20

[13]:<http://www.tmcnet.com/tmc/whitepapers/documents/whitepapers/2014/10350-journey-packet-core-virtualization.pdf> Consulter le 30-02-2021 01h20

[14]:<http://www.ericsson.com/res/ourportfolio/pdf/ericsson-academy/education-centers/packet-core-network.pdf> Consulter le 30-09-2021 22h22

[15] : <http://searchsdn.techtarget.com/answer/NFV-vs-VNF-Whats-the-difference> Consulter le 30-09-2021 22h22

- [16]:<http://www.intel.fr/content/dam/www/public/emea/fr/fr/documents/white-papers/end-to-end-optimized-nfv-paper.pdf> Consulter le 30-09-2021 22h22
- [17] K.E. Jeon, J. She, P. Soonsawad, P.C. Ng, BLE beacons for internet of things applications: survey, challenges, and opportunities, *IEEE Internet Things J.* Consulter le 11-09-2021 04h21
- [18] N.H. Bui, K.K. Nguyen, C. Pham, M. Cheriet, Energy efficient software update mechanism for networked IoT devices, in: 2019 IEEE Global Communications Conference (GLOBECOM), Consulter le 11-09-2020 04h21
- [19] K. Georgiou, S. Xavier-de-Souza, K. Eder, The IoT energy challenge: a software perspective, *IEEE Embed. Syst. Lett.* 10 (3) (2017) 53–56. Consulter le 25-02-2020 15h05
- [20] B. Dezfouli, I. Amirtharaj, C.-C.C. Li, EMPIOT: an energy measurement platform for wireless IoT devices, *J. Netw. Comput. Appl.* Consulter le 11-09-2021 04h21.
- [21] J. Lee, et al., A self-tuning IoT processor using leakage-ratio measurement for energy-optimal operation, *IEEE J. Solid-State Circuits*. Consulter le 11-09-2021 04h21
- [22] F. Shrouf, G. Miragliotta, Energy management based on Internet of Things: practices and framework for adoption in production management, *J. Clean. Prod.* Consulter le 14-07-2021 02h36
- [23] A.-R. Al-Ali, I.A. Zualkernan, M. Rashid, R. Gupta, M. AliKarar, A smart home energy management system using IoT and big data analytics approach, *IEEE Trans. Consum. Electron.* Consulter le 14-07-2021 02h36
- [24] A. Sengupta, S. Kundu, Guest editorial securing IoT hardware: threat models and reliable, low-power design solutions, *IEEE Trans. Very Large Scale Integr. Syst.* Consulter le 14-07-2021 02h36
- [26] S. Zhao, et al., Understanding energy efficiency in IoT app executions, in: 2019 IEEE 39th International Conference on Distributed Computing Systems (ICDCS), Consulter le 14-07-2021 02h36
- [27] E. Viciano, A. Alcayde, F.G. Montoya, R. Baños, F.M. Arrabal-Campos, F. Manzano-Agugliaro, An open hardware design for internet of things power quality and energy saving solutions, [28] G. Gardašević, et al., The IoT architectural framework, design issues and application domains, *Wirel. Pers. Commun.* Consulter le 14-07-2021 02h36
- [29] V. Deep, T. Elarabi, Efficient IEEE 802.15.4 ZigBee standard hardware design for IoT applications, in: *Proceedings* – Consulter le 14-07-2021 02h36
- [30] N. Mitton, M.E. Kantarci, A. Gallais, S. Papavassiliou, OpenMote: open-source prototyping platform for the industrial IoT, *Lect. Notes Inst. Comput. Sci. Soc. Telecommun. Eng. LNICST* 155 (2015) 211–222.
- [31], An energy efficient AES encryption core for hardware security implementation in IoT systems Consulter le 14-07-2021 02h36

- [32] A hardware design of ultra-lightweight block cipher algorithm PRESENT for IoT applications, J. Korea Inst. Inf. Commun. Eng. Consunter le 14-07-2021 02h36
- [33] D.A. Chekired, L. Khoukhi, H.T. Mouftah, Industrial IoT data scheduling based on hierarchical fog computing: a key for enabling smart factory, Consunter le 14-07-2021 02h36
- [34], IEEE Internet Things J. Consunter le 14-07-2021 02h36
- [35] S. Kartakis, M.M. Jevric, G. Tzagkarakis, J.A. McCann, Energy-based adaptive compression in water network control systems, in: 2016 International Workshop on Cyber-physical Systems for Smart Water Networks (CySWater), Consunter le 28-08-2021 11h24
- [36] Y. Chen, et al., Energy-autonomous wireless communication for millimeter-scale Internet-of-Things sensor nodes, IEEE Consunter le 28-08-2021 11h24
- [37] F.M. Al-Turjman, Information-centric sensor networks for cognitive IoT: an overview, Ann. Telecommun.. Consunter le 28-08-2021 11h24
- [38] P. Aramane, A. Bhattad, N. Aithal, P. SB, Iot and neural network based multi region and simultaneous leakage detection in pipelines, Int. J. Adv. Res. Eng. Technol. Consunter le 29-07-2021 13h24
- [39] V. Marinakis, H. Doukas, An advanced IoT-based system for intelligent energy management in buildings, Sensors Consunter le 29-07-2021 13h24
- [40] F.G. Brundu, et al., IoT software infrastructure for energy management and simulation in smart cities, IEEE Trans. Ind. Inform. Consunter le 29-07-2021 13h24
- [41] N. Kaur, S.K. Sood, An Energy-Efficient Architecture for the Internet of Things (IoT), IEEE Syst. J Consunter le 12-08-2021 08h14..
- [42] K. Kravari, T. Kosmanis, A.N. Papadimopoulos, Towards an IOT-enabled intelligent energy management system, Consunter le 12-08-2021 07h48
- [43] S.K.S.L. Preeth, R. Dhanalakshmi, R. Kumar, P.M. Shakeel, An adaptive fuzzy rule based energy efficient clustering and immune-inspired routing protocol for WSN-assisted IoT system, J. Ambient Intell. Hum. Comput. Consunter le 12-08-2021 06h24
- [44] N. Javaid, S. Cheema, M. Akbar, N. Alrajeh, M.S. Alabed, N. Guizani, Balanced energy consumption based adaptive routing for IoT enabling underwater WSNs, IEEE Access Consunter le 12-08-2021 05h24.
- [45] F. Jalali, S. Khodadustan, C. Gray, K. Hinton, F. Suits, Greening IoT with Fog: a survey, in: Proc. - 2017 IEEE 1st Int. Conf. Edge Comput. EDGE 2017, 2017, pp Consunter le 12-08-2021 05h24.

- [46] M. Min, L. Xiao, Y. Chen, P. Cheng, D. Wu, W. Zhuang, Learning-based computation offloading for IoT devices with energy harvesting, *IEEE Trans. Veh. Technol.* consulter le : 12-08-2021 05h24
- [47] P. Kofinas, A.I. Dounis, G.A. Vouros, Fuzzy Q-Learning for multi-agent decentralized energy management in microgrids, *Appl. Energy* consulter le : 18-09-2021 19h50.
- [48] Y. Alsouda, S. Pllana, and A. Kurti, “A machine learning driven IoT solution for noise classification in smart cities,” consulter le : 18-09-2021 19h00
- [49] A.C.F. da Silva, P. Hirmer, B. Mitschang, Model-based operator placement for data processing in IoT environments, in: 2019 IEEE International Conference on Smart Computing (SMARTCOMP), consulter le : 30-07-2021 16h23
- [50] F. Shrouf, J. Ordieres, G. Miragliotta, Smart factories in Industry 4.0: a review of the concept and of energy management approached in production based on the Internet of Things paradigm, in: *IEEE* consulter le : 18-09-2021 19h00