



Journal Homepage: [-www.journalijar.com](http://www.journalijar.com)

INTERNATIONAL JOURNAL OF ADVANCED RESEARCH (IJAR)

Article DOI:10.21474/IJAR01/22837
DOI URL: <http://dx.doi.org/10.21474/IJAR01/22837>



RESEARCH ARTICLE

INTEGRATION DE SDN POUR L'OPTIMISATION DES PERFORMANCES DANS L'INFORMATIQUE MOBILE EDGE IOT

Sombodi Bin Selemani Chris, Kasongo Nyange Franck and Kaj Nawej Chancelle

Manuscript Info

Manuscript History

Received: 14 December 2025

Final Accepted: 16 January 2026

Published: February 2026

Key words:-

Informatique mobile Edge, IoT, SDN,
gestion des ressources, orchestration
reseau, EDGE Computing

Abstract

The article explores the integration of the Internet of Things (IoT) with Mobile Edge Computing using a Software-Defined Networking (SDN) approach. The main goal is to enhance network efficiency and management in IoT environments by leveraging SDN capabilities at the edge. SDN enables centralized network control, allowing for dynamic configuration and programmability of network infrastructure. The study highlights how this approach can improve the performance of IoT applications deployed at the edge while ensuring efficient resource utilization. In conclusion, adopting SDN within Edge Computing for IoT offers new opportunities for creating smarter and more adaptable networks, capable of meeting growing demands for connectivity and data processing at the network's periphery. The combination of IoT and Mobile Edge Computing provides significant advantages in terms of data proximity and reduced latency for applications. However, effective resource management remains a major challenge. This article proposes an SDN-oriented approach to improve resource handling in this context. By applying SDN principles, the approach enables more dynamic orchestration of network resources, leading to better adaptation to changing IoT application needs and more efficient resource allocation.

"© 2026 by the Author(s). Published by IJAR under CC BY 4.0. Unrestricted use allowed with credit to the author."

Introduction:-

Methodologie:-

Dans cette etude, nous allons utiliser la methodologie descriptive qui est une approche qui consistera a proceder par la description de chaque element faisant objet du sujet ou du theme que nous exploitons et ensuite expliquerons l'importance de ces technologies dans quelques domaines de la vie. Decrire les defis lies a chaque element ainsi que les perspectives d'avenirs et ensuite nous prendrons soin de donner des conclusions partielles sur chaque point dans le but de permettre a nos lecteurs de comprendre le quoi de chaque point illustre.

Section 1: Le SDN (Software-Defined Networking): -

L'informatique mobile EdgeIoT orientee SDN (Software-Defined Networking) represente une convergence innovante de technologies visant a optimiser les performances des reseaux IoT (Internet des Objets) a travers le Mobile Edge Computing (MEC). Cette approche combine les avantages de SDN, qui centralise et programme le controle reseau, avec les capacites de calcul et de stockage decentralisees du MEC, localisees au bord du reseau.

Cette synergie promet de répondre efficacement aux exigences croissantes de latence, de bande passante et de sécurité des applications IoT déployées dans des environnements distribués et dynamiques.

Comprendre SDN et ses applications dans l'IoT :-

SDN révolutionne la gestion des réseaux en séparant le plan de contrôle (qui prend des décisions sur le routage et la gestion des ressources) du plan de données (qui transporte effectivement les données). Cette architecture permet une gestion centralisée et programmable du réseau, adaptée aux besoins diversifiés et en constante évolution de l'IoT. En centralisant le contrôle, SDN facilite l'optimisation du trafic, la gestion des politiques de sécurité et l'adaptation aux changements dynamiques dans les conditions du réseau.

Définition du SDN :-

Le SDN est une approche réseau qui sépare le contrôle (qui décide où envoyer le trafic réseau) du plan de données (qui transfère effectivement le trafic). Cette séparation est réalisée en déplaçant le contrôle réseau vers un contrôleur logiciel centralisé, ce qui permet une gestion et une configuration centralisées et programmables des périphériques réseau, tels que les commutateurs et les routeurs. Le SDN (Software-Defined Networking) est une architecture de réseau qui permet la centralisation et la programmation du contrôle du réseau, séparant ainsi le plan de contrôle du plan de données traditionnellement intégré dans les réseaux informatiques.

Principe de fonctionnement du SDN

1. **Contrôleur SDN** : Le cœur du SDN est le contrôleur, un logiciel centralisé qui communique avec tous les périphériques réseau et prend des décisions sur la manière dont le trafic doit être acheminé à travers le réseau.
2. **Périphériques de transfert de données** : Ces périphériques, tels que les commutateurs et les routeurs, exécutent les instructions données par le contrôleur pour transférer le trafic selon les règles définies.
3. **Protocole de communication** : Pour permettre la communication entre le contrôleur et les périphériques, le SDN utilise les protocoles suivants :
 - a) **OpenFlow** : OpenFlow est l'un des premiers protocoles SDN à avoir été largement adopté. Il définit un ensemble de règles de communication entre le contrôleur SDN et les commutateurs réseau. Le contrôleur envoie des instructions aux commutateurs via le protocole OpenFlow, leur indiquant comment router ou transférer les paquets de données. OpenFlow permet une programmabilité granulaire du réseau, ce qui signifie que les administrateurs peuvent définir des politiques de routage et de gestion du trafic avec une grande précision.
 - b) **NETCONF** : NETCONF (Network Configuration Protocol) est un protocole de gestion de réseau utilisé pour la configuration et la gestion des équipements réseau. Contrairement à OpenFlow, qui se concentre principalement sur le contrôle du trafic, NETCONF est utilisé pour la configuration et la surveillance des périphériques réseau eux-mêmes. Il permet aux administrateurs de définir et de modifier la configuration des commutateurs, routeurs et autres périphériques réseau de manière centralisée, à l'aide de messages XML structurés.
 - c) **RESTCONF** : RESTCONF est une version basée sur REST (Representational State Transfer) du protocole NETCONF. Il permet aux administrateurs de configurer et de gérer des équipements réseau en utilisant des API HTTP RESTful. Contrairement à NETCONF, qui utilise XML pour structurer les données, RESTCONF utilise JSON (JavaScript Object Notation), ce qui le rend plus simple à utiliser pour les développeurs et les intégrations avec d'autres systèmes. Ces protocoles SDN offrent une flexibilité et une programmabilité accrues dans la Gestion des réseaux, permettant aux organisations de créer des infrastructures réseau plus dynamiques, évolutives et réactives aux besoins changeants de l'entreprise.

Contrôleurs SDN :-

Les contrôleurs SDN, ou contrôleurs de réseau défini par logiciel, sont des éléments clés de l'architecture SDN. Ils agissent comme des cerveaux du réseau, centralisant la gestion et le contrôle des commutateurs et des routeurs via des interfaces programmables. Ils permettent de séparer le plan de contrôle du plan de données, offrant ainsi une gestion centralisée et une programmabilité accrue du réseau.

Fonctions :-

Les contrôleurs SDN remplissent plusieurs fonctions essentielles, notamment la découverte de la topologie réseau, la gestion des tables de flux, la distribution des règles de routage, la gestion des politiques de sécurité, et la coordination des opérations de réseau. Ils offrent également des API pour permettre aux applications de contrôler le réseau de manière dynamique.

Types de controleurs (centralises, decentralises) :-

Il existe deux principaux types de controleurs SDN : les controleurs centralises et les controleurs decentralises. Les controleurs centralises sont concentres dans un emplacement unique et offrent une vue globale du reseau. En revanche, les controleurs decentralises repartissent les fonctions de controle sur plusieurs nœuds, offrant ainsi une redondance et une tolerance aux pannes accrues.

Integration avec des infrastructures existantes :-

L'integration des controleurs SDN avec des infrastructures existantes peut être un defi, car elle necessite souvent des ajustements pour assurer une compatibilite et une interoperabilite optimales. Les controleurs SDN doivent être configures pour fonctionner avec les equipements reseau existants, les protocoles de communication et les systemes de gestion de reseau deja en place. Cela peut necessiter des adaptations et des configurations specifiques pour garantir une transition fluide vers une architecture SDN.

Architectures SDN:-

Les architectures SDN, ou architectures de reseaux definis par logiciel, decrivent les differentes manieres dont les elements d'un reseau SDN sont organises et interconnectes. Ces architectures definissent la repartition des fonctions de controle, la gestion des flux de donnees et la coordination des politiques reseau.

Architecture a Un Seul Controleur :-

Dans une architecture a un seul controleur, l'ensemble du reseau est gere par un seul controleur SDN centralise. Ce controleur est responsable de la gestion de l'ensemble du reseau, offrant ainsi une vue centralisee et simplifiant les operations de gestion et de controle. Cependant, cette approche peut poser des problemes de scalabilite et de disponibilite, car la defaillance du controleur unique peut entraîner une interruption du reseau.

Architecture a Plusieurs Controleurs:-

Dans une architecture a plusieurs controleurs, le reseau est gere par plusieurs Controleurs SDN repartis dans differentes parties du reseau. Chaque controleur est responsable d'une zone specifique du reseau, ce qui offre une meilleure redondance et une tolerance aux pannes accrue. Cependant, cela necessite une coordination efficace entre les controleurs pour assurer la coherence et la stabilite du reseau.

Architecture Hierarchique:-

Dans une architecture hierarchique, le reseau est organise en plusieurs niveaux de Controle, chacun etant responsable d'une partie specifique du reseau. Cette approche divise le reseau en domaines logiques distincts, appeles domaines de controle ou domaines de gestion. Chaque domaine est gere de maniere autonome par un controleur SDN dedie, souvent designe comme un controleur de domaine. Au sommet de la hierarchie se trouve un controleur de niveau superieur, egalement appele controleur de domaine principal ou controleur global. Ce controleur coordonne les operations entre les differents domaines et assure une vue globale du reseau. Il prend des decisions strategiques concernant l'allocation des ressources, la gestion des politiques reseau et la coordination des operations de maintenance. Chaque domaine de controle peut être subdivise en sous-domaines, chacun etant gere par un controleur de niveau inferieur. Ces sous-domaines peuvent correspondre a des zones geographiques specifiques, des types de trafic particuliers ou des segments de reseau distincts. Chaque controleur de domaine est responsable de la gestion des peripheriques reseau et des flux de donnees a l'interieur de son domaine, en appliquant les politiques definies par le controleur de niveau superieur.

Couches du SDN**Le SDN est generalement structure en trois couches principales :**

1. **Couche d'application** : Où resident les applications de gestion de reseau et les services reseau qui utilisent les capacites du SDN pour ameliorer la gestion, la securite, etc.
2. **Couche de controle** : Où reside le controleur SDN, qui prend des decisions sur la maniere dont le trafic doit être gere et dirige a travers le reseau.
3. **Couche d'infrastructure** : Où resident les peripheriques reseau (commutateurs, routeurs, etc.) qui transferent physiquement les donnees en fonction des instructions du controleur SDN.

Importance du SDN :-

Le SDN presente plusieurs avantages significatifs :

- ✚ **Flexibilite et agilité** : Permet une gestion centralisee et dynamique du reseau, facilitant l'adaptation aux changements de trafic et aux nouvelles exigences des applications.
- ✚ **Optimisation des performances** : Permet un controle precis du trafic reseau, optimisant ainsi l'utilisation des ressources et reduisant la congestion.
- ✚ **Reduction des coûts d'exploitation** : Simplifie la gestion du reseau en centralisant les fonctions de controle, ce qui peut reduire les coûts operationnels et les besoins en materiel.
- ✚ **Centralisation de la gestion** : SDN permet une gestion centralisee du reseau a partir d'un point de controle unique. Cela simplifie la configuration, la surveillance et la gestion des politiques reseau a travers l'ensemble de l'infrastructure.
- ✚ **Flexibilite et programmabilite** : Grâce a SDN, les administrateurs peuvent programmer et configurer dynamiquement le reseau via des interfaces logicielles. Cela permet une adaptation rapide aux changements de trafic et aux besoins applicatifs, facilitant ainsi l'innovation et l'evolutivite.
- ✚ **Optimisation des ressources** : SDN permet une utilisation plus efficace des ressources reseau en optimisant la bande passante, en minimisant la latence et en ameliorant la qualite de service (QoS) pour les applications critiques.
- ✚ **Automatisation accrue** : L'automatisation est simplifiee grâce a SDN, reduisant ainsi les erreurs humaines et accelerant les deploiements de reseau et les mises a jour.
- ✚ **Securite renforcee** : SDN facilite la mise en œuvre de politiques de securite coherentes a travers tout le reseau, renforçant ainsi la protection contre les menaces et simplifiant la gestion des acces.
- ✚ **Evolutivite et agilité** : En separant le plan de controle du plan de donnees, SDN permet une evolutivite lineaire en ajoutant simplement des commutateurs compatibles. Cela rend le reseau plus agile pour repondre aux besoins croissants de trafic et d'applications. En resume, le SDN represente une evolution majeure dans la gestion des reseaux informatiques, offrant une gestion centralisee, flexible et securisee du trafic reseau. Cette approche est cruciale pour repondre aux defis croissants de gestion des reseaux dans des environnements de plus en plus complexes et dynamiques.

Mobile Edge Computing (MEC) : Ameliorer la performance et la latence :-

Le Mobile Edge Computing etend les capacites de calcul et de stockage au plus pres des utilisateurs et des appareils IoT, souvent situes au bord du reseau. Cela reduit la latence en rapprochant le traitement des donnees des points où elles sont generees et consommees, ameliorant ainsi l'experience utilisateur et la reactivite des applications critiques telles que la realite augmentee, la conduite autonome et la telemedecine.

Avantages de l'integration de SDN dans le MEC pour l'IoT :-

1. **Optimisation des ressources** : SDN permet une allocation dynamique et efficace des ressources reseau et de calcul necessaires pour repondre aux demandes fluctuantes des applications IoT deployees via le MEC.
2. **Securite amelioree** : En centralisant la gestion des politiques de securite, SDN renforce la protection des donnees sensibles et des appareils connectes dans les environnements IoT.
3. **Gestion centralisee** : Selon Zhang et al. (2014), SDN permet une gestion agile des reseaux, offrant une vue unifiee et programmable des ressources reseau, ce qui est crucial pour repondre aux defis d'echelle poses par l'IoT (Zhang, Wen, Zhu, & Zhang, 2014).

Une vue unifiee et programmable du reseau facilite la gestion des performances et des politiques, reduisant ainsi la complexite operationnelle et les coûts associes a la maintenance et a l'optimisation des reseaux IoT deployes au bord du reseau.

MEC : Optimisation des performances et de la latence :-

Le Mobile Edge Computing (MEC) deplace les capacites de calcul et de stockage vers les bordures du reseau, plus proches des utilisateurs finaux. Cela reduit la latence et ameliore les performances des applications critiques telles que la realite augmentee et la conduite autonome. SDN facilite cette transition en permettant une allocation dynamique des ressources reseau necessaires pour soutenir les applications MEC a travers le reseau distribue. Dans leur etude, Kang, Hu et Huang (2017) examinent les architectures de reseau optimisees par SDN pour le MEC, soulignant l'importance de la gestion efficace des ressources reseau dans les environnements de calcul de peripherie (Kang, Hu, & Huang, 2017).

Section.2 : Edge Computing :-

Le Edge Computing est une approche de traitement des données qui consiste à effectuer le traitement et l'analyse des données aussi près que possible de leur source, c'est-à-dire à la périphérie (ou "edge") du réseau, plutôt que de les transférer vers des centres de données (Data Center) distants ou vers le cloud pour traitement. Cette technologie vise à réduire les délais de latence, à améliorer la bande passante, à renforcer la sécurité et à permettre une prise de décision plus rapide en déplaçant le traitement des données là où elles sont générées, souvent au niveau des appareils eux-mêmes ou à proximité. Le Edge Computing trouve des applications dans divers domaines, tels que l'Internet des objets (IoT), les véhicules autonomes, les villes intelligentes, la santé connectée, les jeux en ligne et bien d'autres, où des données doivent être traitées rapidement et efficacement. - L'Edge Computing consiste à traiter les données près de leur source, c'est-à-dire au niveau de l'« edge » ou du périphérique, plutôt que de les transmettre à un centre de données central pour traitement. Cela réduit la latence et la bande passante nécessaire pour les applications en temps réel. Cette technologie émergente offre de nombreux avantages, notamment une réduction de la latence, une bande passante réseau optimisée, une meilleure sécurité des données et une disponibilité accrue des services. Nous explorerons en détail les concepts, les principes fondamentaux du Edge Computing, y compris son architecture, ses composants clés et les technologies sous-jacentes qui le rendent possible. Nous discuterons également sur des différences et /ou le rapport entre le Edge Computing et le Cloud Computing, Edge Computing et IOT, les réseaux 6G et le Edge Computing ainsi que leur impact dans la vie d'aujourd'hui et celle d'avenir, ses applications, ses avantages et ses défis.

Le fonctionnement de la technologie Edge Computing repose sur la décentralisation du traitement des données, en rapprochant les capacités de calcul des sources de données elles-mêmes.

Cela fonctionne généralement sous les concepts suivants :

1. **Collecte des données** : Les données sont générées par des capteurs, des appareils IoT (Internet des objets), des équipements industriels, des véhicules connectés, ou d'autres sources. Ces données peuvent être de différents types, allant des données environnementales aux données de suivi des performances des équipements.
2. **Traitement local initial** : Plutôt que d'envoyer immédiatement toutes les données à un centre de données centralisé (comme dans le **Cloud Computing** traditionnel), une partie du traitement initial est effectuée localement, au niveau du périphérique ou à proximité. Cela peut inclure des tâches telles que la filtration des données, la compression, la normalisation ou même des analyses préliminaires pour identifier des tendances ou des anomalies.
3. **Analyse et traitement avancés** : Après le traitement initial, les données peuvent être envoyées vers des serveurs Edge (situés dans un **datacenter**¹ plus proche du lieu de génération des données) pour un traitement plus avancé. Ce traitement peut impliquer des analyses plus approfondies, des algorithmes d'apprentissage automatique (Machine Learning)² ou d'autres techniques d'analyse de données pour extraire des informations significatives.
4. **Prise de décision locale ou remontée des résultats** : En fonction des besoins de l'application et de la criticité des décisions à prendre, les résultats de l'analyse peuvent être utilisés localement pour déclencher des actions immédiates, par exemple ajuster les paramètres d'un équipement en temps réel en tenant compte du conditionnement physique du milieu. Alternativement, les résultats peuvent être renvoyés vers un système centralisé (par exemple, un Cloud) pour des actions ultérieures ou pour une analyse plus approfondie.

Automatisation et orchestration :-

L'edgecomputing permet également d'automatiser et d'orchestrer les applications afin de rationaliser le déploiement de nouveaux services et d'accélérer les délais de mise sur le marché. Ces capacités sont inestimables sur le marché hautement concurrentiel d'aujourd'hui.

Intégration avec le Cloud : Le Edge Computing ne remplace pas nécessairement le Cloud, mais il le complète. Les données et les résultats peuvent être envoyés vers le Cloud pour un stockage à long terme, une analyse historique, une intégration avec d'autres systèmes, ou d'autres tâches qui nécessitent des ressources informatiques plus importantes ou une vision globale des données. Mais le Transfert sélectif : « Seules les données agréées ou les

¹Un data center, ou centre de données, est un espace dans lequel sont concentrés les équipements permettant de faire tourner des systèmes d'information — routeurs, serveurs, baies de stockage, ordinateurs centraux, etc[<https://www.numerama.com/tech/>]

²Une Machine Learning est un système informatique capable d'apprendre à partir de données et de généraliser des connaissances pour effectuer des tâches ou prendre des décisions sans programmation explicite pour chaque situation rencontrée.

resultats de traitement pertinents sont transférés vers le centre de données central ou le cloud. Cela réduit la bande passante nécessaire pour les transferts de données ».

Edge computing, IOT, Cloud Computing et les Réseaux 6G quelle relation ? En effet, L'EDGE computing est la couche intermédiaire entre les Devices (Matériels) et le cloud Computing alors que les réseaux 6G constituent les moyens de transport à grande vitesse qui seraient utilisés pour le déplacement des données comme on peut le constater sur la figure ci-dessous :

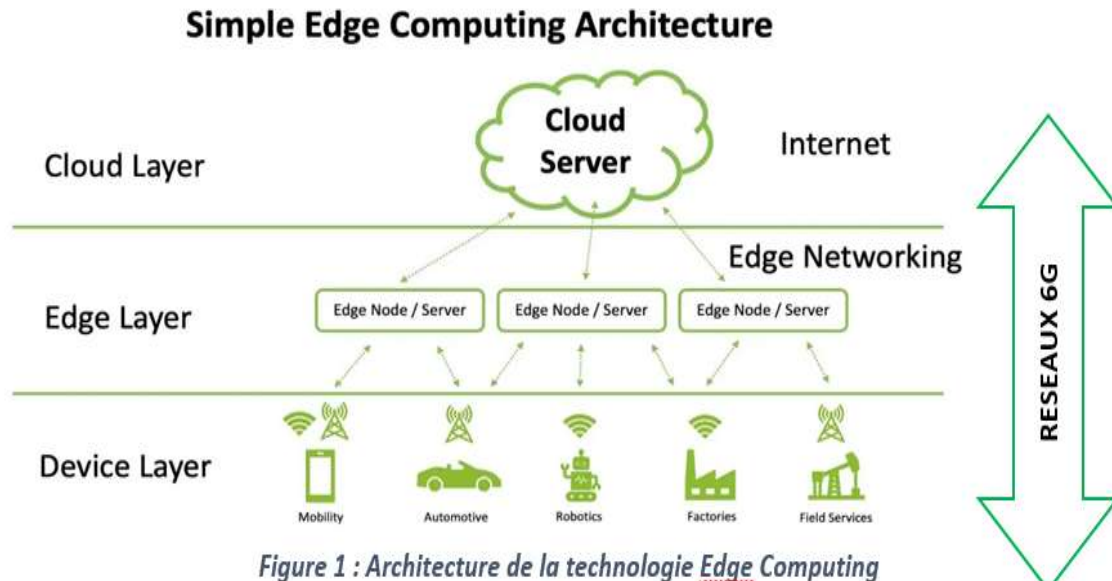


Figure 1 : Architecture de la technologie Edge Computing

Couche (Layer) Cloud :

- **Fondement** : La couche cloud est basée sur la fourniture de ressources informatiques à la demande via Internet. Cela inclut le stockage de données, la puissance de calcul et divers services et applications. Le cloud computing permet aux entreprises et aux individus d'accéder à ces ressources sans avoir à gérer l'infrastructure sous-jacente.
- **Fonctionnalités clés** : Évolutivité, flexibilité, partage de ressources, accès à distance, paiement à l'utilisation.
- **Utilisation typique** : Stockage de données à grande échelle, traitement de données volumineuses, déploiement d'applications et de services web.

Couche(Layer) Device (Dispositif) :

- **Fondement** : La couche dispositif comprend tous les appareils physiques, tels que les capteurs, les smartphones, les objets connectés, robots, panneaux de signalisation intelligents, etc., qui collectent des données et interagissent avec l'environnement.
- **Fonctionnalités clés** : Collecte de données, capteurs et actionneurs, traitement de base, communication avec d'autres dispositifs ou systèmes.
- **Utilisation typique** : Capteurs environnementaux, dispositifs portables, gadgets domestiques intelligents.

Couche(Layer) Edge (Bord) :

- **Fondement** : La couche edge est située près du lieu où les données sont produites (par opposition au cloud, qui est généralement situé à distance). Elle consiste en des serveurs ou des dispositifs de traitement local qui peuvent pré-traiter ou analyser les données avant de les envoyer au cloud.
- **Fonctionnalités clés** : Traitement en temps réel, réduction de la latence, filtrage des données, pré-traitement local, prise de décision décentralisée.
- **Utilisation typique** : Analyse en temps réel, traitement de données sensibles à la latence, optimisation de la bande passante, réduction des coûts de transmission de données.

Reseaux 6G :

- **Fondement** : Les reseaux 6G sont la prochaine generation de reseaux de communication mobiles, offrant des vitesses de transmission extrêmement elevees, une latence ultra-faible et une connectivite massive pour repondre aux besoins des applications emergentes telles que l'IoT, la realite virtuelle/augmentee et le cloud computing.
- **Fonctionnalites cles** : Haut debit, faible latence, connectivite massive, efficacite energetique, securite amelioree.
- **Utilisation typique** : Communication a grande vitesse et a faible latence entre les appareils, prise en charge des applications gourmandes en donnees et en temps reel, deploiement de l'IoT a grande echelle. Voyons maintenant comment les concepts de Edge Computing, l'Internet des Objets (IoT) et le Cloud Computing pourraient être lies aux reseaux 6G de maniere symetrique :

Edge Computing et Reseaux 6G :

- Le Edge Computing et les reseaux 6G peuvent travailler en synergie pour fournir un traitement des donnees ultra-rapide et une faible latence.
- Les capacites de traitement local du Edge Computing peuvent être completees par les performances ameliorees des reseaux 6G, permettant ainsi de fournir des services en temps reel encore plus efficaces.

Internet des Objets (IoT) et Reseaux 6G :

- Les reseaux 6G pourraient prendre en charge une connectivite encore plus etendue et plus fiable pour l'IoT, permettant ainsi de connecter un nombre encore plus important d'appareils.
- Les performances accrues des reseaux 6G pourraient permettre une communication bidirectionnelle plus rapide et plus efficace entre les appareils IoT et les systemes de traitement des donnees.

Cloud Computing et Reseaux 6G:

- Les reseaux 6G pourraient etendre la portee et l'accessibilite du Cloud Computing en offrant des vitesses de transmission de donnees plus elevees et une connectivite plus stable.
- Les applications de Cloud Computing pourraient beneficier des performances ameliorees des reseaux 6G pour transferer rapidement des donnees entre les peripheriques Edge et les centres de donnees cloud. Dans l'ensemble, les reseaux 6G pourraient jouer un role crucial dans l'amelioration de la connectivite, de la vitesse et de la fiabilite des systemes bases sur l'EdgeComputing, l'IoT et le Cloud Computing, en facilitant une communication plus rapide et plus efficace entre les peripheriques, les services cloud et les centres de donnees. Ensemble, ces couches forment une infrastructure informatique distribuee qui permet la collecte, le traitement et l'analyse des donnees a partir de dispositifs distribues dans le monde entier, en exploitant les avantages de chaque couche pour repondre aux besoins specifiques des applications et des services modernes qui bouleverseront le monde de demain du numerique.

Composants de l'edgecomputing :-

L'edgeMais le Transfert estelectif

Computing comprend differents composants qui fonctionnent ensemble pour traiter les donnees en peripherie. Ces elements sont les suivants :

Passerelles : Les passerelles sont utilisees pour gerer les donnees et connecter les appareils aux services en cloud. Elles constituent l'interface par laquelle les utilisateurs peuvent interagir avec les nœuds peripheriques. La passerelle Edge est une instance de calcul implantee a la transition entre deux reseaux. Dans des environnements IoT, les passerelles Edge sont utilisees comme nœuds entre l'Internet des objets et le reseau central. On a aussi de puissants routeurs, capables de supporter de fortes puissances de calcul pour assurer le traitement des donnees de l'IoT. Pour ce faire, les passerelles Edge disposent de diverses interfaces permettant de transferer les donnees soit par câble, soit par radio, et de standards de communication, comme l'Ethernet, le Wifi, le Bluetooth, la telephonie 3G, LTE, Zigbee, Z-Wave, CAN-Bus, Modbus, BACnet ou SCADA.

Nœuds de peripherie : Il s'agit de dispositifs informatiques tels que des ordinateurs, des routeurs et des dispositifs IoT connectes a la passerelle. Ils sont charges de collecter les donnees et de les envoyer a la passerelle.

Services en cloud : Les services en cloud stockent et analysent les donnees reçues des nœuds peripheriques. Ces services en cloud peuvent inclure des bases de donnees, des outils d'analyse ou des algorithmes de Machine Learning.

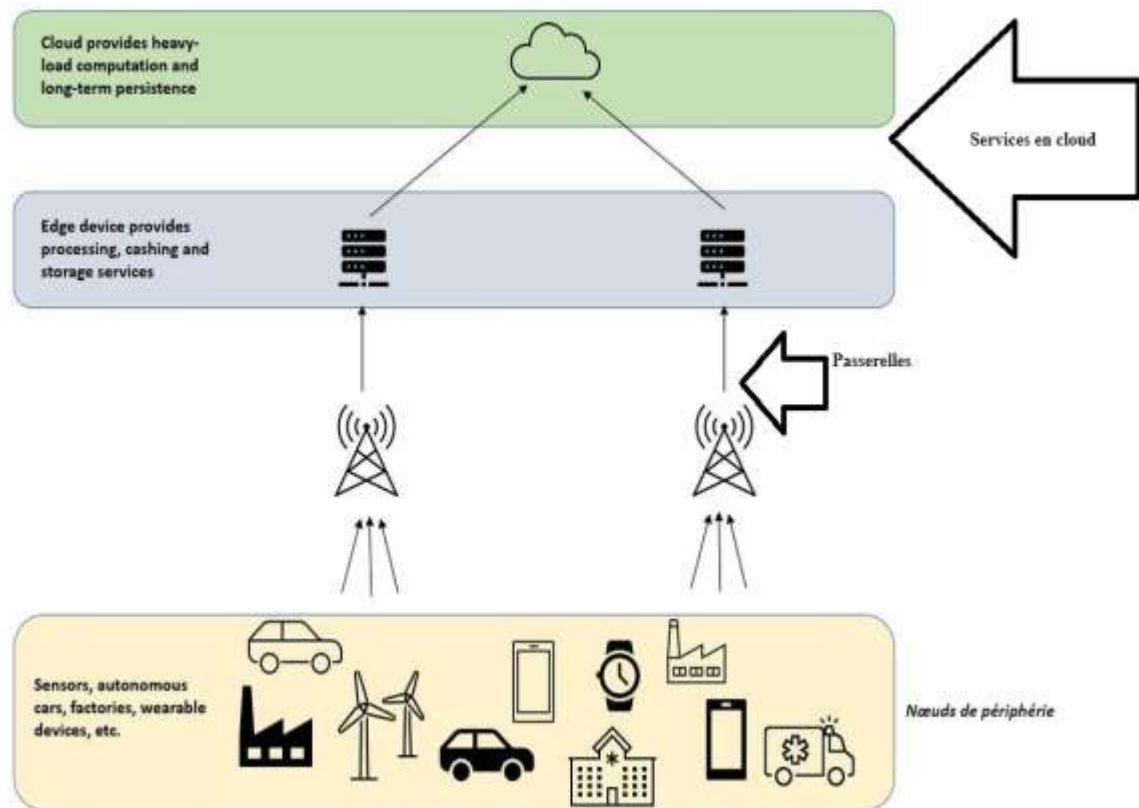


Figure 2: Composants de l'edgecomputing

Section 3. Applications du Edge Computing et les Perspectives d'avenirs : -

Avantages du Edge Computing, IOT et les reseaux 6G et perspectives d'avenirs :-

Les avantages offerts par ces technologies par rapport aux approches traditionnelles de traitement des données centralisées, notamment la réduction de la latence, l'amélioration de la bande passante, la confidentialité et la sécurité accrues, ainsi que la résilience et la disponibilité améliorées. Grâce à cela beaucoup de domaines de la vie professionnels ont été contraints de s'adapter à ces métamorphoses technologiques. Les technologies Edge Computing, IOT et les réseaux 6G ont un impact significatif dans les domaines de la médecine et des sciences, offrant de nouvelles opportunités pour améliorer les soins de santé, la recherche médicale, transport, environnement, logistique et tant d'autres activités scientifiques. L'intégration du Edge Computing, des IoT (Internet des Objets) et des réseaux 6G offre un potentiel énorme pour transformer le domaine de la médecine. Ils ont joué un rôle prépondérant dans quelques-uns des principaux aspects de cet impact :

En médecine:-

Telemedecine améliorée (soins de santé à distance) :-

Le Edge Computing permet la mise en place de solutions de télé-médecine plus efficaces en offrant un traitement local des données médicales, ce qui réduit la latence et améliore la qualité de service pour les consultations à distance. Les dispositifs médicaux connectés pourraient envoyer les données directement aux infrastructures de Edge Computing locales pour un traitement en temps réel, permettant aux professionnels de la santé d'obtenir des informations précieuses plus rapidement.

- Les dispositifs IoT connectés aux patients, tels que les moniteurs de santé portables et les capteurs biométriques, peuvent collecter en continu des données sur la santé des patients, comme la pression artérielle, le rythme cardiaque, la glycémie, etc.
- Le Edge Computing peut être utilisé pour traiter ces données localement en temps réel, ce qui permet un suivi médical continu et une réponse rapide aux changements de l'état de santé.
- Les réseaux 6G offriront donc des débits de données ultra-rapides et une faible latence, garantissant une communication en temps réel entre les patients et les professionnels de la santé, même à distance.

Diagnostic medical avance :

- Les dispositifs d'imagerie medicale, tels que les scanners IRM et CT, pourront generer de grandes quantites de donnees. Le Edge Computing peut être utilise pour traiter ces donnees localement, reduisant ainsi la latence et evitant le transfert massif de donnees vers des serveurs distants. Les capteurs portables et les dispositifs medicaux IoT une fois implements dans un hopital peuvent beneficier du Edge Computing en effectuant un traitement preliminaire des donnees localement, avant de transmettre uniquement les informations pertinentes aux systemes centraux. Cela permet une surveillance medicale continue et en temps reel des patients, facilitant le diagnostic precoce des conditions medicales et la gestion des maladies chroniques
- Les algorithmes d'IA integres au Edge Computing peuvent aider a analyser les images medicales en temps reel pour un diagnostic plus rapide et plus precis.
- Les reseaux 6G permettront des transferts de donnees ultra-rapides, permettant aux professionnels de la sante de partager des images et des informations de diagnostic en temps reel, même lorsqu'ils sont a distance.

Chirurgie assistee par ordinateur :

- En utilisant des dispositifs IoT et des capteurs chirurgicaux connectes, les chirurgiens pourraient avoir un acces en temps reel aux donnees physiologiques des patients pendant les interventions chirurgicales.
- Le Edge Computing peut fournir une puissance de calcul locale pour traiter ces donnees en temps reel, permettant aux chirurgiens d'effectuer des ajustements immediats pendant la chirurgie.
- Les reseaux 6G garantiront une connectivite ultra-fiable et a faible latence, garantissant une communication fluide entre les dispositifs chirurgicaux et les systemes de support a distance.

En combinant le EdgeComputing, les IoT et les reseaux 6G, le domaine de la medecine peut beneficier d'une surveillance continue des patients, de diagnostics plus rapides et precis, et d'une chirurgie plus sûre et plus efficace, même dans des environnements où les ressources medicales sont limitees. Ces technologies ont le potentiel de transformer radicalement les soins de sante, en offrant des solutions innovantes pour ameliorer les resultats des patients et l'efficacite des prestataires de soins de sante.

Recherche medicale et developpement de medicaments:-

Dans le domaine de la recherche medicale, le Edge Computing permet une analyse rapide des donnees massives generees par le sequençage du genome, la simulation moleculaire, ou l'imagerie medicale. En distribuant les charges de travail de calcul sur des infrastructures de Edge Computing locales, les chercheurs peuvent acclereler le processus de decouverte de medicaments et d'identification de traitements personnalisés.

Analyse d'imagerie medicale:-

Le Edge Computing offre la possibilite d'effectuer une analyse d'imagerie medicale en temps reel, en particulier dans les situations d'urgence telles que les accidents vasculaires cerebraux (AVC) ou les traumatismes. Les images medicales peuvent être traitees localement pour detecter rapidement les anomalies et aider les medecins a prendre des decisions eclairees concernant le traitement des patients.

Securite des donnees et confidentialite:-

En traitant les donnees medicales localement au niveau du Edge, les informations sensibles peuvent être mieux protegees, car moins de donnees sensibles sont transmises sur les reseaux, reduisant ainsi les risques de violation de la confidentialite et de la securite des donnees. En resume, le Edge Computing revolutionne la maniere dont les soins de sante sont dispenses et la recherche medicale est menee. En rapprochant le traitement des donnees des sources où elles sont generees, il offre des avantages significatifs en termes de reactivite, de precision, de securite et de confidentialite des donnees, ouvrant ainsi la voie a de nouvelles avancees dans les soins de sante et les sciences.

Gestion de l'environnement & dans la rudologie :-

Le EDGE computing, combine a l'IoT (Internet des Objets), offre une solution puissante pour ameliorer la gestion des dechets et l'environnement de plusieurs façons :

Surveillance en temps reel :

- Les capteurs IoT peuvent être deployes sur les bennes a ordures, les conteneurs de recyclage, les stations de traitement des eaux usees, etc., pour surveiller en temps reel divers parametres tels que le niveau de remplissage, la temperature, la pression, la qualite de l'eau, etc.
- Le EDGE computing permettra de faire le traitement local des donnees collectees par ces capteurs, ce qui permet une surveillance en temps reel des conditions environnementales. Cela permet une detection rapide des incidents tels que les deversements, les fuites, ou les niveaux de pollution anormaux.

Optimisation des operations :

- En analysant les donnees collectees par les capteurs IoT, les systemes EDGE peuvent optimiser les operations de collecte des dechets. Par exemple, en identifiant les bennes a ordures qui necessitent une vidange immediate, les itineraires de collecte peuvent être optimises pour reduire les trajets inutiles et minimiser la consommation de carburant.
- De même, dans les installations de traitement des dechets, l'analyse en temps reel des donnees peut aider a optimiser les processus de tri, de recyclage et de traitement des dechets, ce qui reduit les coûts operationnels et l'empreinte environnementale.

Gestion proactive des incidents :

- Les donnees en temps reel fournies par les capteurs IoT permettent une detection precoce des incidents environnementaux tels que les deversements de produits chimiques ou les niveaux eleves de pollution. Les alertes generees par ces systemes permettent une intervention rapide pour minimiser les dommages environnementaux et les risques pour la sante publique.

Reduction des coûts de connectivite :

- En effectuant une partie du traitement des donnees sur site, le EDGE computing reduit la dependance a l'egard des connexions Internet haut debit, ce qui permet des economies significatives en termes de coûts de connectivite. Cela est particulierement avantageux dans les zones reculees où la connectivite Internet peut être limitee ou coûteuse. En combinant le EDGE computing avec l'IoT, il est possible de creer des systemes de gestion des dechets et de l'environnement plus intelligents et plus efficaces. Ces systemes permettent une surveillance en temps reel, une optimisation des operations, une gestion proactive des incidents et une reduction des coûts, contribuant ainsi a ameliorer la durabilite environnementale et a reduire les impacts negatifs sur la sante publique.

Gestion de la circulation routiere :-

L'Integration des trois technologies emergentes est une decision tres ingenieuse de la part de decideurs des villes pour bien optimiser la gestion de la circulation routiere en vue de creer des routes et villes intelligentes. Comme le souligne mohammedLaroui : « Systemes de ville intelligente : Une ville intelligente est une zone urbaine composee de secteurs connectes qui collaborent pour fournir des services aux utilisateurs grâce a l'analyse des donnees collectees a partir de differentes sources. Les villes intelligentes visent a reduire la congestion routiere et la consommation d'energie, ce qui contribue a ameliorer la qualite de vie »³. Etant donne qu'aujourd'hui l'Internet des objets (IoT) a gagne le secteur automobile. Apres avoir touche l'info-divertissement, il s'est etendu a la fusion de capteurs, a la geolocalisation ainsi qu'aux communications cellulaires et a courte portee qui sont au cœur des nouvelles architectures V2X qui vont ameliorer l'experience de conduite et acclereler le developpement des vehicules autonomes. A un niveau elementaire, le V2X (pour Vehicule a Vehicule, V2V, et Vehicule a Infrastructures routieres V2I) permet aux automobiles de communiquer des informations critiques entre l'infrastructure et d'autres vehicules pour eviter les accidents aux intersections⁴. D'où on parle souvent des vehicules intelligents⁵ ou vehicule connecte⁶.

³ Mohammed Laroui, Distributed edge computing for enhanced IoT devices and new generation network efficiency, HAL Open Sciences, Alger, 2023, P.38

⁴ Thomas nigg et costatMeimetis, Les véhicules connectés ou l'Internet des objets qui... comptent vraiment, 2016, P .1

⁵ Mohammed Laroui, Op.cit ,P.169

⁶ [Voiture automobile dotée des technologies embarquées nécessaires pour traiter, de manière autonome, des données recueillies ou reçues, ce qui permet la commande d'actions].

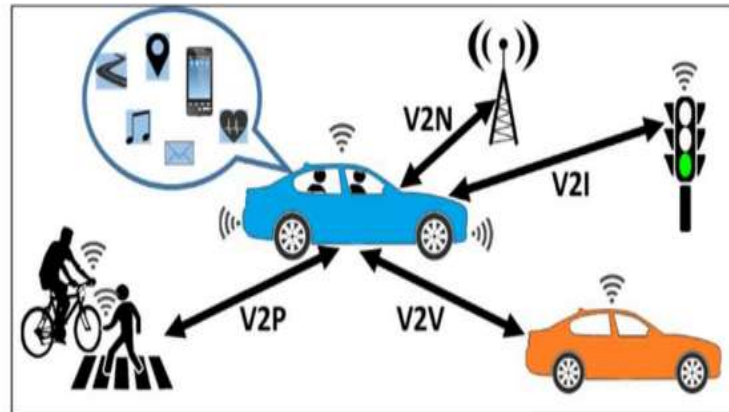


Figure 3: Vehicule Connecte

L'adoption des technologies Edge Computing, l'Internet des Objets (IoT) et les reseaux 6G peuvent jouer un role crucial dans le monde de demain en ce qui concerne l'amelioration de la gestion de la circulation routiere de plusieurs manieres notamment :

1. **Collecte de donnees en temps reel** : Les capteurs IoT installes sur les routes, les feux de signalisation, les vehicules eux-mêmes et d'autres infrastructures peuvent collecter une multitude de donnees en temps reel sur le trafic routier, y compris la vitesse, la densite du trafic, les conditions meteorologiques, etc.
2. **Traitement local des donnees** : L'usage de Edge Computing permettra de traiter ces donnees localement, c'est-a-dire la où elles sont generees, plutot que de les envoyer a des centres de donnees distants. Cela reduit la latence et permet des decisions plus rapides et plus precises.
3. **Analyse predictive** : En utilisant des algorithmes d'intelligence artificielle et d'apprentissage automatique, les donnees collectees pourront donc être analysees pour prevoir les schemas de trafic futurs, les congestions potentielles et les zones a risque d'accidents.
4. **Optimisation du trafic** : Sur la base des predictions et des analyses en temps reel, les systemes de gestion de la circulation pourront et/ou peuvent ajuster dynamiquement les feux de signalisation, les itineraires recommandes, les restrictions de vitesse, etc., pour optimiser le flux de trafic et reduire les embouteillages.
5. **Communication vehicule-infrastructure (V2I)**: Les vehicules connectes peuvent communiquer avec les infrastructures routieres, tels que les feux de signalisation intelligents, pour obtenir des informations sur les conditions de la route et recevoir des instructions pour optimiser leur trajet.
6. **Securite routiere amelioree** : Les donnees en temps reel et les capacites de traitement local peuvent être utilisees pour detecter les situations dangereuses sur la route, telles que les collisions imminentes, les pietons traversant la chaussee, etc., et declencher des avertissements ou des mesures preventives.

Les voitures connectees sont en effet confrontees a une serie de defis passionnants a mesure qu'elles continuent d'evoluer. L'un des defis les plus critiques est de garantir une connectivite robuste et securisee, ainsi qu'une gestion efficace des donnees. C'est la que les technologies IoT (Internet des objets) et le Edge Computing (calcul en peripherie) jouent un role crucial.

En combinant ces technologies, les autorites de gestion de la circulation pourront donc creer des systemes plus efficaces, sûrs et intelligents, contribuant ainsi a reduire les embouteillages, les emissions de CO₂, les accidents de la route et a ameliorer globalement la qualite de vie dans les zones urbaines.

Section 3. Les Defis et perspectives futures :-

Dans cette section, nous aborderons les defis et les obstacles associes a la mise en œuvre du Edge Computing, tels que la gestion de la complexite, la securite des donnees, les questions de conformite reglementaire, ainsi que les defis lies a l'evolutivite et a l'interoparabilite. Enfin, nous discuterons des perspectives futures du Edge Computing et des tendances emergentes dans ce domaine. Les defis et les perspectives futures du Edge Computing, IOT et les reseaux 6G sont essentiels a considerer pour comprendre pleinement leur impact et evolution. Voici une analyse detaillee de ces aspects :

Edge Computing :**Defis :**

- **Gestion des données :** L'un des principaux défis est de gérer efficacement les données à la périphérie du réseau. Le Edge Computing implique le traitement des données à proximité de leur source, ce qui nécessite une gestion efficace de la volumétrie croissante des données tout en respectant les contraintes de latence et de bande passante et une gestion efficace des ressources informatiques réparties sur un large éventail de dispositifs et de réseaux.
- **Sécurité :** Avec le traitement des données à proximité des utilisateurs, il existe des risques accrus en matière de sécurité et de confidentialité des données. Les appareils Edge peuvent être plus vulnérables aux attaques, et la sécurisation de ces points d'accès est donc cruciale.
- **Intégration avec les réseaux existants :** Intégrer les capacités de calcul et de stockage à la périphérie du réseau avec les infrastructures existantes représente également un défi. Cela nécessite souvent des mises à niveau des équipements réseau et des logiciels pour assurer une communication transparente entre les appareils Edge et le cloud central.
- **Conformité réglementaire :** Les réglementations sur la confidentialité des données et la protection de la vie privée peuvent varier d'une région à l'autre, ce qui rend la conformité réglementaire plus complexe dans un environnement de Edge Computing distribué.
- **Évolutivité et interopérabilité :** Assurer l'évolutivité des infrastructures de Edge Computing pour répondre à la demande croissante des applications et garantir l'interopérabilité entre les différents dispositifs et plates-formes constituent des défis techniques et opérationnels.
- **Coût et rentabilité :** Le déploiement et la maintenance des infrastructures de Edge Computing peuvent représenter un investissement financier important pour les entreprises. Il est essentiel de trouver un équilibre entre les coûts initiaux et les avantages potentiels pour garantir la rentabilité à long terme.
- **Les failles dues au manque du courant électriques :** Vu qu'il existe certains endroits du monde où le courant électrique n'est pas stable et parfois il n'existe presque pas donc malgré que ces technologies pourront être implémentées, mais il y aura toujours des milieux qui seront pas connectés donc, l'évidence serait de penser à une autre forme d'énergie pouvant alimenter ces dernières même dans le milieu le plus reculés du monde, comme c'est le cas de certains pays du tiers monde.

Perspectives futures :

- ❖ **Amélioration des capacités de traitement :** Les avancées dans les technologies de microprocesseurs et de stockage devraient permettre des capacités de calcul et de stockage plus puissantes à la périphérie du réseau, permettant ainsi un traitement plus efficace des données.
- ❖ **Intégration de l'IA et de l'apprentissage automatique :** L'intégration de l'IA et de l'apprentissage automatique dans les appareils Edge permettra des analyses plus avancées et une prise de décision autonome, ce qui est essentiel pour les applications telles que l'automatisation industrielle et les véhicules autonomes.
- ❖ **Développement d'algorithmes de traitement des données :** Le développement d'algorithmes plus efficaces pour le traitement des données en temps réel à la périphérie du réseau permettra une utilisation plus efficace des ressources disponibles et une réponse plus rapide aux événements en temps réel.
- ❖ **Edge Computing orienté vers les services :** Les fournisseurs de services cloud et les entreprises développeront des offres de services de Edge Computing plus sophistiquées, offrant des solutions clés en main pour les applications spécifiques et les industries verticales.
- ❖ **Normes et bonnes pratiques :** L'élaboration de normes et de bonnes pratiques pour le Edge Computing sera essentielle pour garantir l'interopérabilité, la sécurité et la conformité réglementaire à l'échelle mondiale.
- ❖ **Intégration avec le Cloud Computing :** Le Edge Computing restera en évolution en association avec du Cloud Computing, avec une intégration plus étroite entre les environnements de Edge et les infrastructures cloud centralisées pour offrir une flexibilité et une efficacité accrues.

Defis:

- 🌐 **Sécurité :** La sécurité est l'un des plus grands défis pour l'IoT. Avec un grand nombre d'appareils connectés collectant et échangeant des données sensibles, il est crucial de garantir la confidentialité et l'intégrité de ces données, ainsi que la sécurité des appareils eux-mêmes contre les attaques.
- 🌐 **Interopérabilité :** L'interopérabilité entre les différents appareils et plateformes IoT est un autre défi. Les normes de communication doivent être harmonisées pour permettre une intégration fluide entre les différents appareils et systèmes.
- 🌐 **Gestion des données :** Gérer efficacement le volume massif de données générées par les appareils IoT est un défi. Cela inclut la collecte, le stockage, le traitement et l'analyse de ces données pour en extraire des informations exploitables.

Perspectives futures :

- ❖ Normes de securite plus robustes : L'evolution vers des normes de securite plus robustes, telles que le chiffrement avance et l'authentification a deux facteurs, sera essentielle pour assurer la confiance des utilisateurs et stimuler l'adoption de l'IoT a grande echelle.
- ❖ Developpement de dispositifs IoT securises : Le developpement de dispositifs IoT avec des protocoles de securite integres et des mises a jour logicielles securisees permettra de reduire les vulnerabilites et de renforcer la securite des reseaux IoT.
- ❖ Analyse avancee des donnees : L'integration de techniques d'analyse avancee, telles que l'apprentissage automatique et l'analyse predictive, permettra d'extraire des informations plus precieuses des donnees IoT et de prendre des decisions plus eclairees.

Reseaux 6G :-

Defis :

- **Developpement de technologies de communication avancees** : Les reseaux 6G necessitent le developpement de technologies de communication encore plus rapides et plus fiables pour repondre aux demandes croissantes de bande passante et de connectivite et qui pourront être commercialises a l'échelle mondiale et a moindre coût afin de donner la chance a tout le monde d'en disposer.
- **Connectivite dans des environnements difficiles** : Assurer une connectivite fiable dans des environnements difficiles, tels que les zones rurales ou les zones a forte densite de population, ou les regions montagneuses cela est un defi pour les reseaux 6G.
- **Interoperabilite avec les technologies existantes** : Les reseaux 6G doivent être compatibles avec les technologies existantes, telles que la 5G, pour assurer une transition en douceur et une integration transparente avec les infrastructures reseau existantes.

Perspectives futures :

- **Vitesses de connexion encore plus rapides** : Les reseaux 6G devraient offrir des vitesses de connexion encore plus rapides que la 5G, permettant des applications et des services encore plus avances, tels que la realite virtuelle en streaming et les jeux en nuage. La technologie des reseaux 6G est en cours de developpement et promet des vitesses de telechargement considerablement plus rapides que les generations precedentes.

Voici quelques points cles sur la vitesse des reseaux 6G :

- **Vitesse de Telechargement:** Les reseaux 6G offriraient des vitesses de telechargement minimales de 100 Gb/s, soit 10 fois plus rapides que la 5G et 300 fois plus rapides que les reseaux 4G les plus performants actuels¹.
- **Capacite et Latence:** La 6G devrait permettre une capacite nettement superieure et une latence beaucoup plus faible, avec des communications a latence d'une microseconde².
- **Debits Potentiels:** En theorie, les reseaux 6G peuvent offrir des vitesses allant jusqu'a 1 teraoctet par seconde³.
- **Disponibilite** : La commercialisation de l'internet 6G est prevue pour 2030.

Ces avancees pourraient transformer la connectivite sans fil, la cognition, la detection et l'imagerie, en integrant l'intelligence artificielle pour une meilleure gestion des donnees et des ressources informatiques. Pour plus de details, nous pouvons voir ce qui est prevu par **Huawei** qui est l'une de firmes qui developpent sur cette norme, voici la figure ci-dessous qui indique le timeline de l'normalisation :

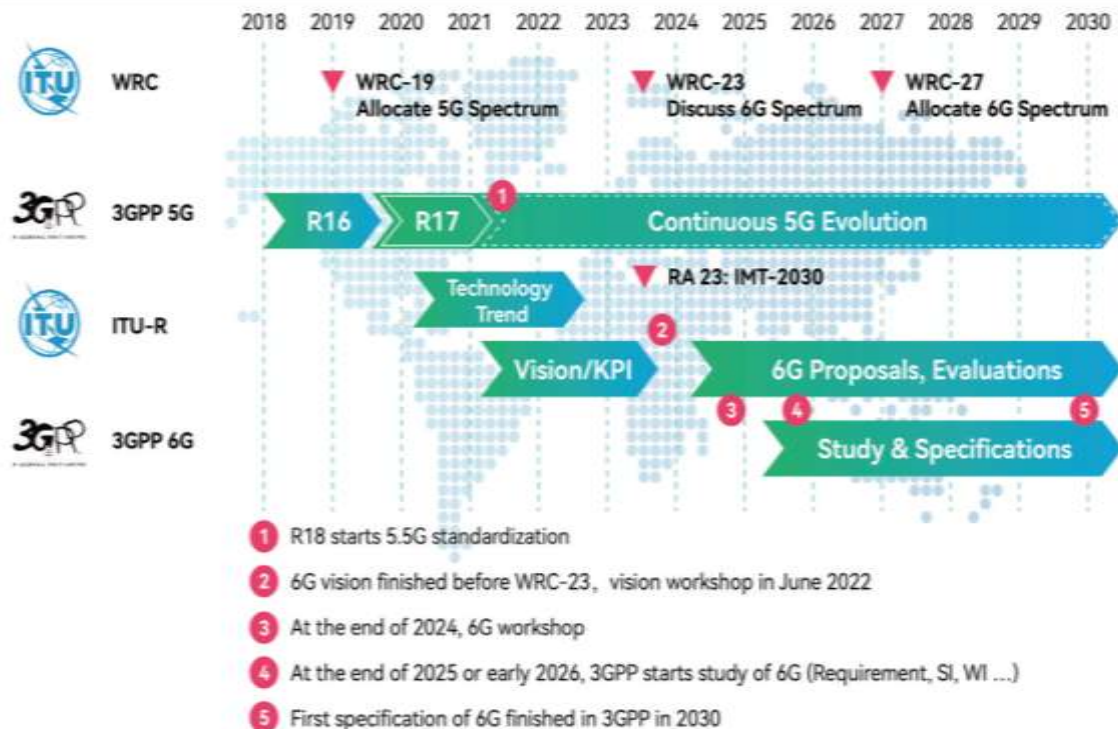


Figure 4:La chronologie attendue pour la normalisation du 6G

- **Connectivité améliorée pour les appareils IoT :** Les réseaux 6G devraient offrir une connectivité améliorée pour les appareils IoT, permettant une communication plus rapide et plus fiable entre les appareils connectés et les applications cloud.
- **Technologies de communication avancées :** Les technologies telles que le beamforming⁷, les antennes intelligentes et la communication par satellite joueront un rôle crucial dans l'extension de la connectivité à des endroits jusqu'ici difficiles à atteindre, tels que les zones rurales et les zones reculées.

- **Croissance continue :**

Le Edge Computing devrait continuer à croître rapidement, alimenté par la demande croissante de services à faible latence et la prolifération des appareils IoT. De nouvelles applications et cas d'utilisation émergeront dans divers domaines, notamment la santé, l'automobile, la fabrication et les villes intelligentes.

Edge Computing, Les Iot, Fog Computing Et Les Réseaux 6g Face A L'emprise Pestel :-

Le modèle PESTEL est un outil d'analyse utilisé pour examiner les facteurs externes qui peuvent influencer une entreprise ou une industrie⁸. Sous plusieurs angles. Voici sur la figure suivante de quoi il est question de cette analyse :

⁷Le beamforming, ou formation de faisceaux, est une technique de traitement du signal utilisée dans les réseaux d'antennes pour la transmission ou la réception directionnelle de signaux.

⁸<https://www.lecoindesentrepreneurs.fr>

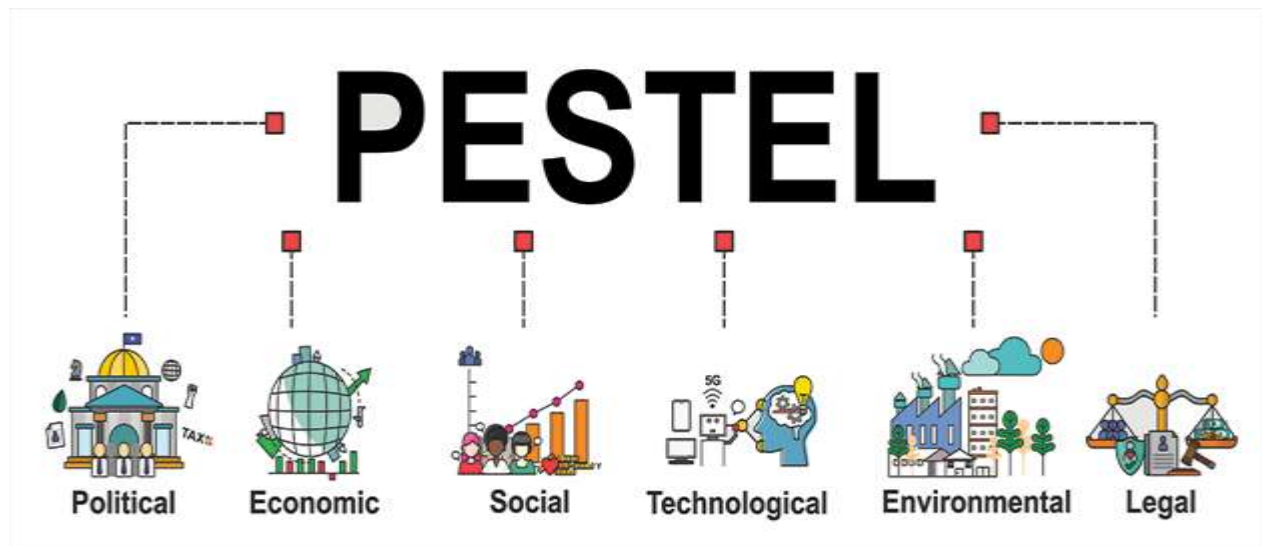


Figure 5:L'analyse PESTEL

Examinons comment la technologie Edge Computing, l'Internet des Objets (IoT) et les reseaux 6G pourront faire l'objet a chaque dimension du modele PESTEL :

1. Politique (Politique) :

- Les reglementations gouvernementales peuvent jouer un role crucial dans la façon dont ces technologies sont deployees. Par exemple, les politiques de protection de la vie privée et de la securite des donnees peuvent avoir un impact sur la collecte et l'utilisation des donnees IoT.
- Les gouvernements peuvent egalement promouvoir ou restreindre le developpement de ces technologies a travers des incitations fiscales, des subventions ou des restrictions.

2. Economique (Economic) :

- L'adoption de ces technologies peut avoir un impact significatif sur l'economie, en creant de nouvelles opportunités d'emploi dans le secteur de la technologie, en stimulant l'innovation et en ameliorant l'efficacite operationnelle.
- Cependant, il peut egalement y avoir des coûts initiaux eleves associes au deploiement et a la maintenance de l'infrastructure necessaire pour prendre en charge ces technologies.

3. Socioculturel (Social and Cultural) :

- L'acceptation sociale de ces technologies peut varier en fonction de facteurs tels que la confiance dans la securite des donnees, les preoccupations concernant la vie privée et l'impact sur la vie quotidienne.
- Les avantages perçus, tels que la commodite accrue, la securite amelioree et la reduction de l'empreinte carbone, peuvent influencer l'adoption et l'utilisation de ces technologies.

4. Technologique (Technological) :

- Ces technologies sont a la pointe de l'innovation technologique, offrant des capacites de traitement local avancees, une connectivite ultra-rapide et une integration transparente des appareils et des systemes.
- Cependant, les defis technologiques tels que la securite des donnees, l'interopabilite des appareils et la gestion de la complexite peuvent egalement être des considerations importantes.

5. Environnemental (Environmental) :

- Ces technologies peuvent avoir un impact sur l'environnement a la fois positif et negatif. Par exemple, l'optimisation du trafic routier grâce a des systemes IoT et EdgeComputing peut reduire les emissions de CO2 en diminuant les embouteillages.
- Cependant, la fabrication, le deploiement et la gestion de ces technologies peuvent egalement avoir une empreinte environnementale, notamment en termes de consommation d'energie et de gestion des dechets electroniques.

6. Legal (Legal) :

- Les considerations juridiques telles que la conformite aux lois sur la protection des donnees, les reglementations sur la securite routiere et les responsabilites juridiques en cas d'incidents peuvent influencer la conception et la mise en œuvre de ces technologies.

- De plus, les questions de propriete intellectuelle et de droit des contrats peuvent egalement être importantes lors de la collaboration entre les fournisseurs de technologie, les entreprises et les gouvernements.

La technologie EdgeComputing, l'IoT et les reseaux 6G peuvent être analyses a travers le prisme du modele PESTEL pour comprendre leur impact et les facteurs qui peuvent influencer leur adoption et leur deployment.

Defis et considerations :-

Malgre ses avantages, l'integration de SDN dans l'IoT oriente MEC pose plusieurs defis :

- **Complexite operationnelle** : La gestion d'un grand nombre de peripheriques IoT et de points d'accès MEC necessite une planification minutieuse et des competences specialisees pour configurer et optimiser efficacement le reseau.

- **Evolutivite**: Assurer la scalabilite des infrastructures SDN dans des environnements IoT en expansion rapide, tout en maintenant des niveaux eleves de performance et de securite.

Conclusion partielle : L'integration de SDN dans l'IoT oriente MEC represente une etape cruciale vers des reseaux plus intelligents, reactifs et securises pour les applications IoT modernes. En exploitant les avantages de la centralisation du controle et de la decentralisation des capacites de calcul, cette approche offre une solution prometteuse pour repondre aux defis techniques et operationnels poses par les deploiements IoT a grande echelle.

Conclusion generale :-

L'article examine l'integration de l'Internet des Objets (IoT) avec l'informatique mobile Edge en utilisant une approche orientee Software-Defined Networking (SDN). L'objectif principal est d'optimiser les performances des applications IoT deployees a la peripherie du reseau (Edge) en exploitant les capacites de programmabilite et de gestion centralisee de SDN. Cette approche vise a repondre aux defis tels que la latence reduite, la gestion efficace des ressources et la securisation des donnees dans les environnements dynamiques de l'IoT. L'article met en avant les avantages de SDN, notamment la flexibilite accrue dans la gestion des politiques reseau, la capacite d'orchestrer dynamiquement les ressources reseau en fonction des exigences des applications IoT et la reduction de la complexite operationnelle. En integrant SDN a l'Edge Computing, les chercheurs montrent comment cela peut ameliorer la fiabilite et la securite des communications IoT, tout en optimisant la bande passante et en minimisant la latence pour les applications sensibles au temps.

Donc, l'approche SDN orientee IoT pour l'informatique mobile Edge represente une avancee significative pour les reseaux modernes, offrant des solutions plus intelligentes et adaptatives aux defis croissants de connectivite et de traitement des donnees a la peripherie du reseau. Pour que ces technologies puissent realiser pleinement leur potentiel, il est crucial d'investir dans la recherche et le developpement, de mettre en place des normes et des reglementations adaptees, et de favoriser la collaboration entre les acteurs du secteur public et prive. En adoptant une approche proactive pour relever ces defis, nous pouvons creer un avenir où les technologies EDGE computing, IoT et les reseaux 6G contribuent de maniere significative a la transformation numerique, a l'innovation et au bien-être socio-economique a l'echelle mondiale. Ces technologies peuvent contribuer de maniere significative au developpement durable en optimisant l'utilisation des ressources, en reduisant les emissions de carbone, en surveillant et en controlant l'environnement, en promouvant une gestion intelligente de l'energie et en favorisant une planification urbaine durable. EdgeComputing, l'IoT et les reseaux 6G offrent tous des perspectives passionnantes pour l'avenir, mais leur adoption generalisee dependra de la resolution des defis actuels et de l'innovation continue dans ces domaines.

References:-

1. 6G :the Next Horizon,Rapport de Huawei
2. Anses – Les Cahiers de la Recherche No 20 - Sante, Environnement, Travail – novembre 2022
3. Arcep FRANCE, Reseaux du futur - Les voitures connectees
4. Factorysystems:EdgeComputing, Une nouvelle ere du PC Industriel !
5. Frederic DESBIENS (S.D)Open Source POUR L'IOT A l'ere du edgecomputing
6. Hend Ben Hadji(Coree du Sud)Les fondamentaux de l'IoT
7. LEMAG IT,Edge Computing : quels sont les gains pour les entreprises
8. Zhang, Q., Wen, Y., Zhu, H., & Zhang, H. (2014). Software-defined networking for big data: A survey. *IEEE Access, 2*, 1089-1106. doi:10.1109/ACCESS.2014.2332453
9. Kang, J., Hu, F., & Huang, C. (2017). A survey on MEC-enabled SDN: Network architecture and optimization. In *Proceedings of the IEEE International Conference on Communications (ICC)* (pp. 1-6). doi:10.1109/ICC.2017.7996805.
10. Markess by exaegis(Decembre 2020) :EdgecomputingRe-distribuer la puissance informatique et etendre les frontieres du Cloud
11. MehtabAlam ,Ihtiram Raza Khan,EDGE COMPUTING AND ITS IMPACT ON IOT(March 2021)Wesleyan Journal of Research, Vol 14 No 07.
12. Mohammed Larouf (2022):Distributed edge computing for enhanced IoT devices and new generation network efficiency
13. Mariam Ishtiaq, Nasir Saeed, et ALL (2022):Edge Computing in IoT: A 6G Perspective,IEEE
14. par Khaldoun AL AGHA, Pauline LOYGUE et Guy PUJOLLE. Edge Networking,© ISTE Editions 2022.
15. Steven Carlini,Les tendances et les bienfaits de Edgecomputing,livre blanc N°226
16. Syed Salman Raza Naqvi (2019):A Survey on Vehicular Edge Computing Architecture, Applications, Technical Issues, and Future Directions
17. VERTIV(2018) :L'impact du cloud et de l'Internet des objets sur la demande en datacenters.
18. Vishal Lakshminarayanan1, Aswathy Ravikumar 1 et All :(2023)Health Care Equity Through Intelligent Edge Computing and Augmented Reality/Virtual Reality: A Systematic Review.

Webographie:-

1. [<https://www.numerama.com/tech>]
2. 6G : guide complet sur la sixieme generation de reseau sans fil (objetconnecte.com)
3. https://anses.hal.science/anses-04107352/file/2022_CDRL_tognola_voitures_connectees.pdf
4. <https://www.lembarque.com/>
5. <https://fr.statista.com/>