



جامعة محمد الخامس بالرباط  
Université Mohammed V de Rabat

# L'EDGE COMPUTING

Master spécialisé IPS

# Plan de cette séance

**1**

**Edge computing : Définition**

**2**

**Exemples de cas d'utilisation de l'Edge computing**

**3**

**Avantages de l'Edge computing**

**4**

**Architecture et éléments d'un réseau d'edge computing**

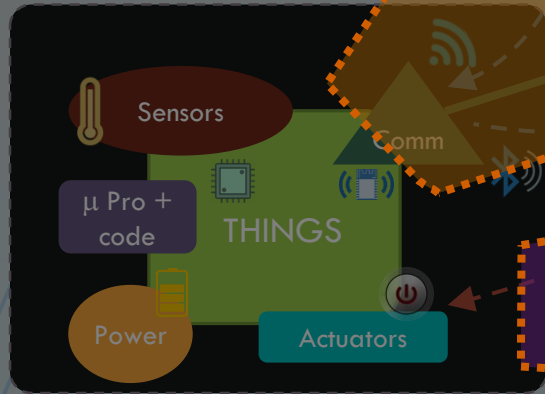
**5**

**CDN VS EDGE COMPUTING**

**6**

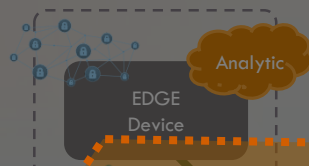
**L'edge computing pour les télécommunications**

Components  
Model



Smart Objects / Machines

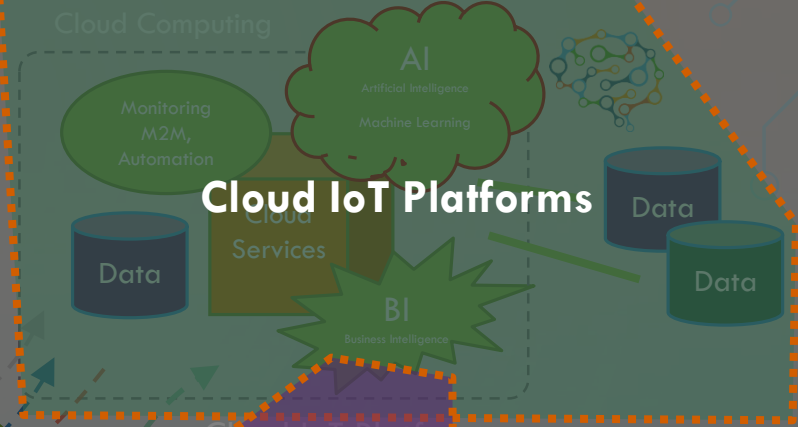
Edge Computing



Object Connectivity  
Platforms



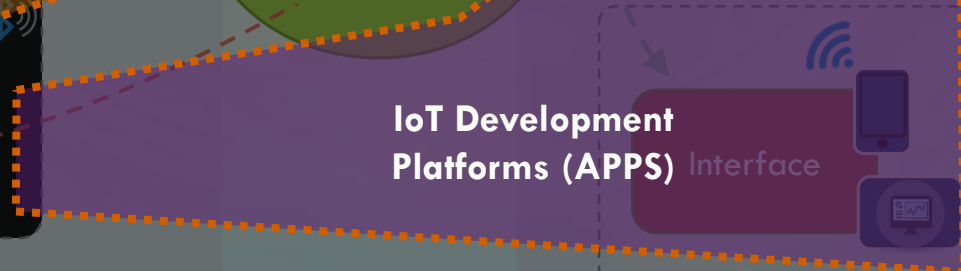
Cloud Computing



Cloud IoT Platforms

Cloud IoT Platforms

IoT Development  
Platforms (APPS)



Mobile App

WEB App

Human Interaction

# 1- Edge computing : Définition

**EDGE** : c'est la périphérie

**COMPUTING** : c'est l'informatique

**Le Edge Computing est donc l'informatique à la périphérie**

L'edge computing désigne le traitement informatique qui s'effectue à l'emplacement physique de l'utilisateur ou de la source des données, ou à proximité.

- En rapprochant les services de calcul de ces emplacements, l'edge computing permet aux utilisateurs de profiter de services plus rapides et fiables et offre aux entreprises la flexibilité d'un cloud hybride.
- Le traitement des données à proximité des utilisateurs et des terminaux accélère et simplifie l'accès, quel que soit l'endroit où se trouvent les utilisateurs et les terminaux, en réduisant la latence.

# 1- Edge computing : Définition

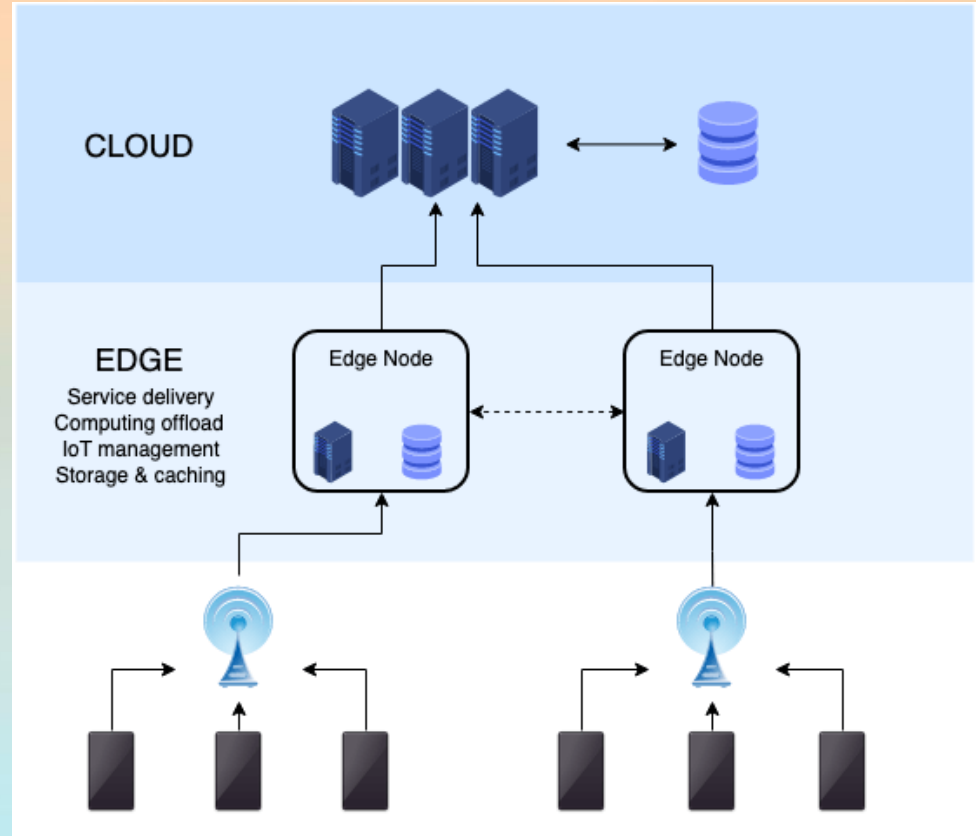
❑ **Définition par:** « Bob Gill, expert du secteur et analyste chez Gartner, dans The Edge Manifesto »

Définition: La bordure de l'Internet est conçue pour « placer les ressources de contenu, de calcul et des centres de données à la périphérie du réseau, près des concentrations d'utilisateurs. Cette évolution du modèle traditionnel de centre de données centralisé garantit une meilleure expérience utilisateur exigée par l'activité digitale. »

➤ La bordure de l'Internet est conçue pour créer des sites hautement distribués et agiles qui fournissent un accès à des services tout en minimisant la latence, en optimisant l'échelle et en protégeant constamment les applications déployées sur n'importe quelle plateforme.

# 1- Edge computing : Définition

Le principe de l'Edge computing est donc de ramener la donnée, les capacités de stockage et de calcul au plus près de l'utilisateur ou du périphérique connecté au cloud.



# 1- Edge computing : Définition

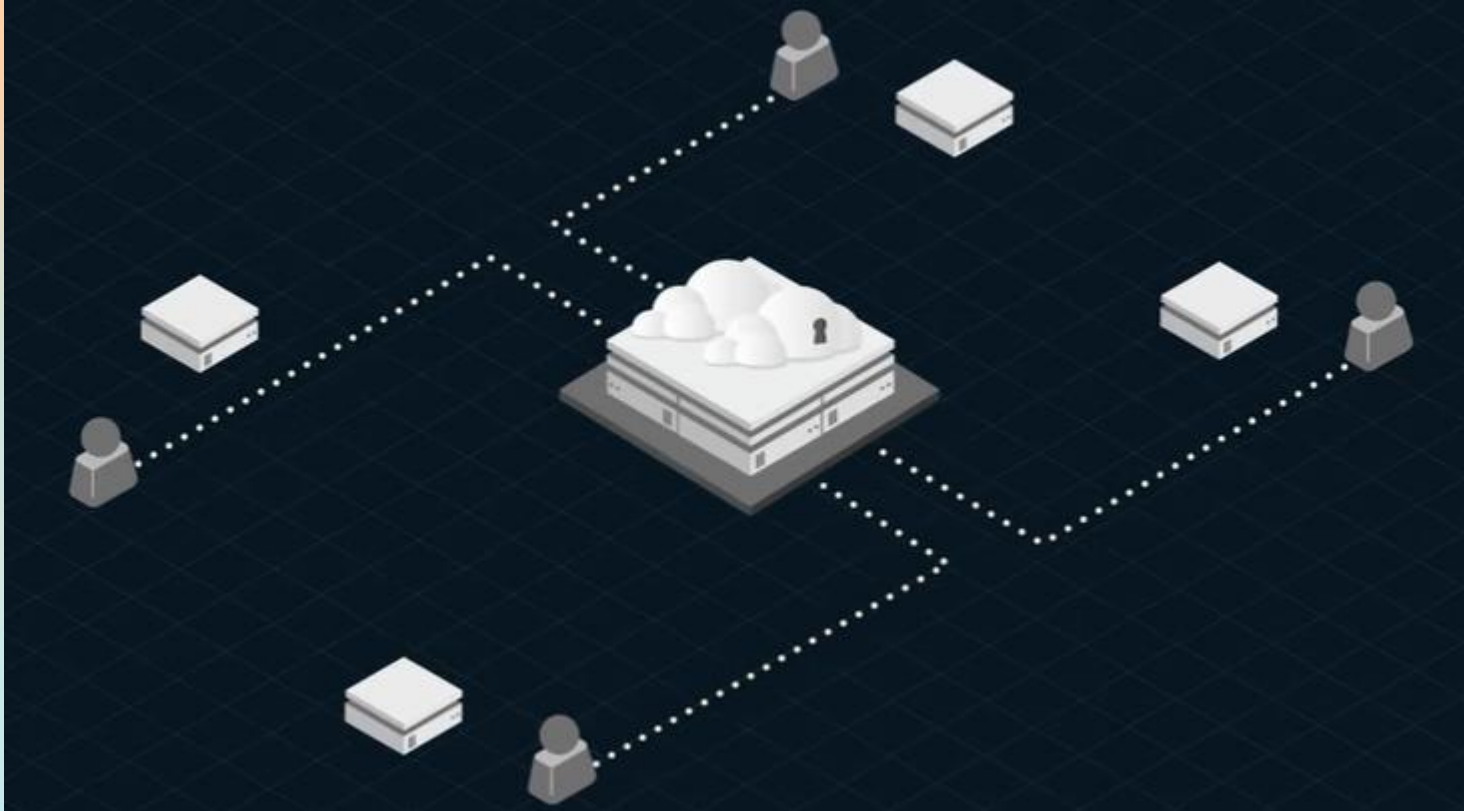
## ❑ Comment fonctionne l'Edge Computing ?

- L'Edge Computing rapproche les données, les informations et la prise de décision des objets qui les utilisent, comme un terminal IoT ou l'ordinateur d'un utilisateur.
- L'Edge Computing convertit ces interactions en données, qui peuvent être utilisées pour prendre une décision, rechercher des modèles ou transmettre des données à une application de stockage ou d'analyse afin de mener une analyse plus approfondie.

➡ Le but est de garantir un déploiement fiable et évolutif afin que les données, notamment les données en temps réel, ne subissent pas de latence qui pourrait affecter l'objectif ou les performances d'une application.

# 1- Edge computing : Définition

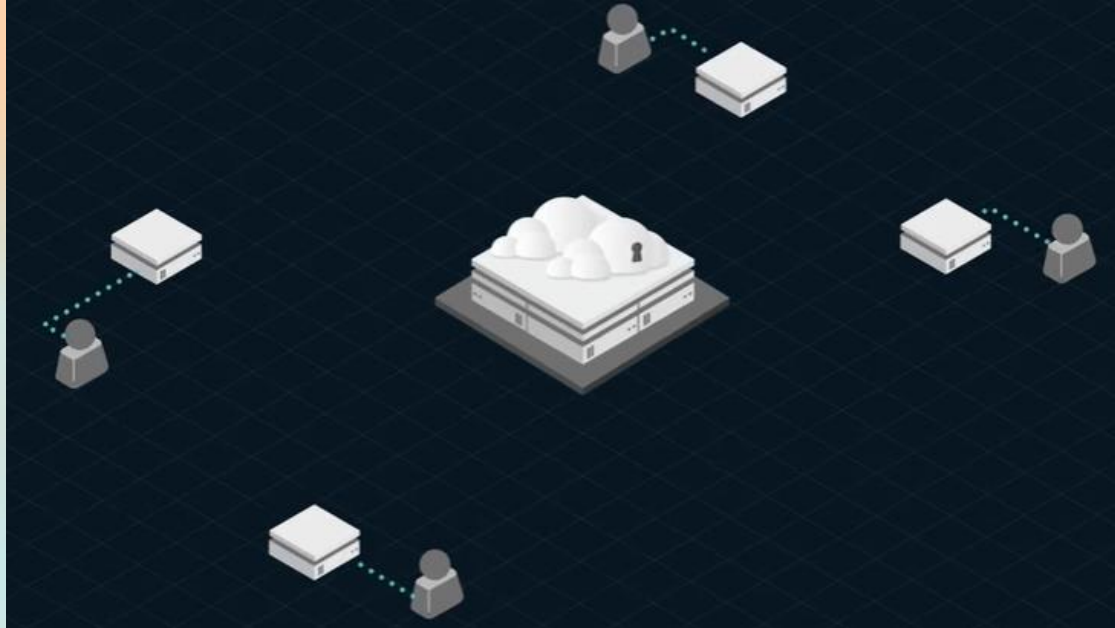
## ❑ Comment fonctionne l'Edge Computing ?





# 1- Edge computing : Définition

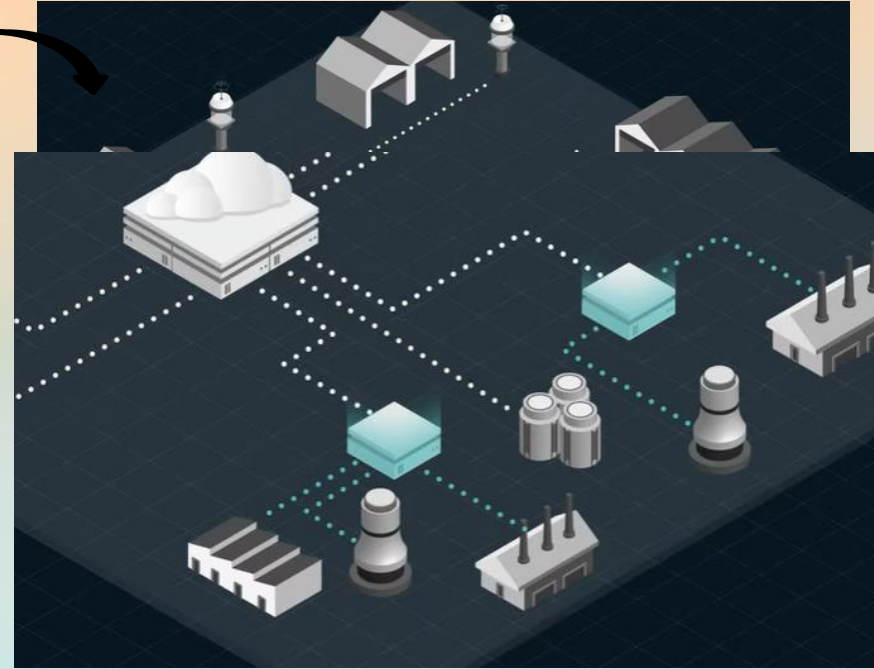
## ❑ Comment fonctionne l'Edge Computing ?



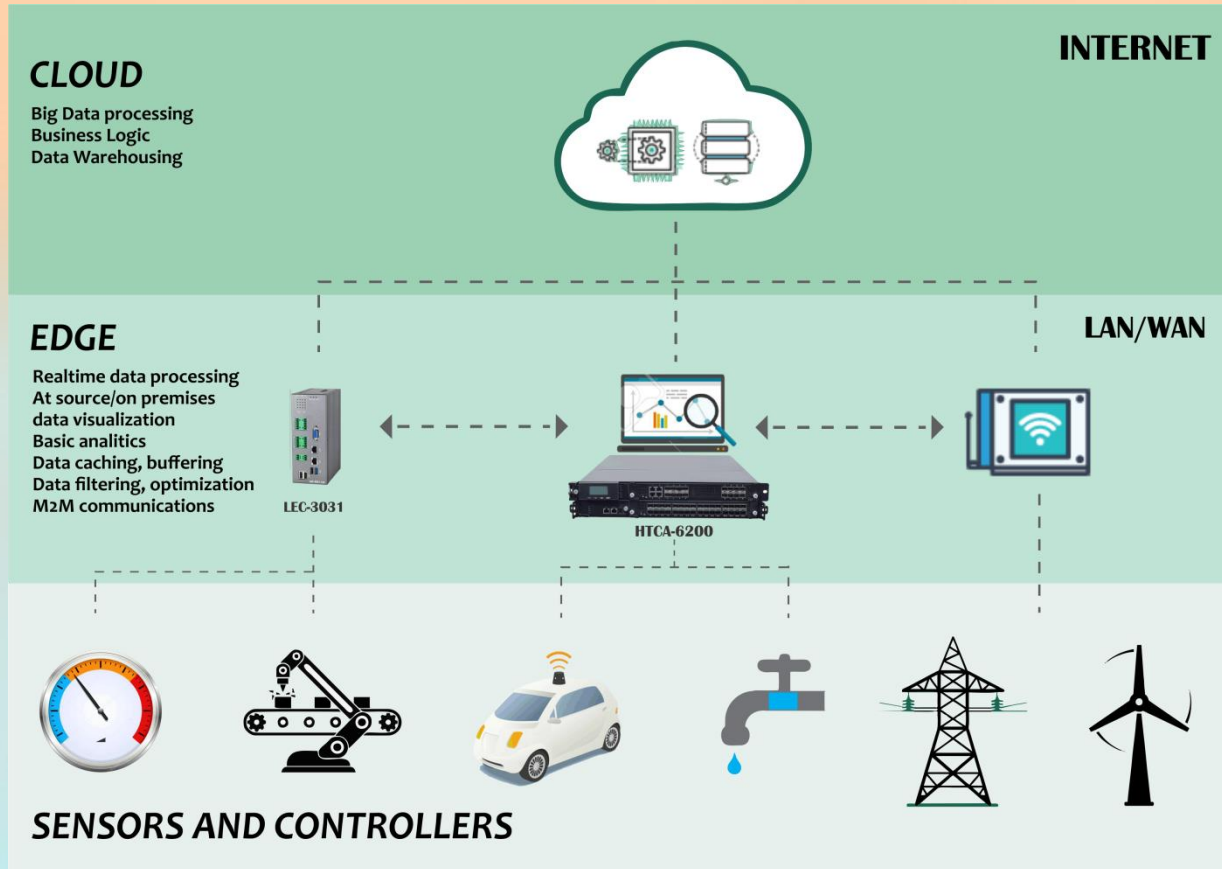
**La norme MEC (Multi-Access Edge Computing)** permet de déplacer le trafic informatique et les services depuis un cloud centralisé vers un réseau de périphérie, plus proche du client.

# 1- Edge computing : Définition

## ❑ Comment fonctionne l'Edge Computing ?



## 2- Exemples de cas d'utilisation de l'Edge computing



## 2- Exemples de cas d'utilisation de l'Edge computing

Les machines avancées modernes utilisent *des dispositifs sensoriels IoT* pour la température, l'humidité, la pression, le son, l'humidité et le rayonnement.

Avec les larges capacités de vision des caméras compatibles avec le protocole Internet (caméras IP) et d'autres technologies, cela produit *une quantité énorme et continue de données* qui sont ensuite combinées et analysées pour fournir des informations clés qui peuvent évaluer de manière fiable la santé de tout système en cours d'exécution.

- Les ressources informatiques à la périphérie permettent d'analyser, de traiter et de fournir les données aux utilisateurs finaux en temps réel.
- Permettent aux centres de contrôle d'accéder aux données au fur et à mesure qu'elles se produisent, de prévoir et de prévenir les dysfonctionnements dans les meilleurs délais.

## 2- Exemples de cas d'utilisation de l'Edge computing

L'edge computing est désormais utilisé dans de nombreux secteurs d'activité, notamment les télécommunications, la fabrication, les transports et les services publics.

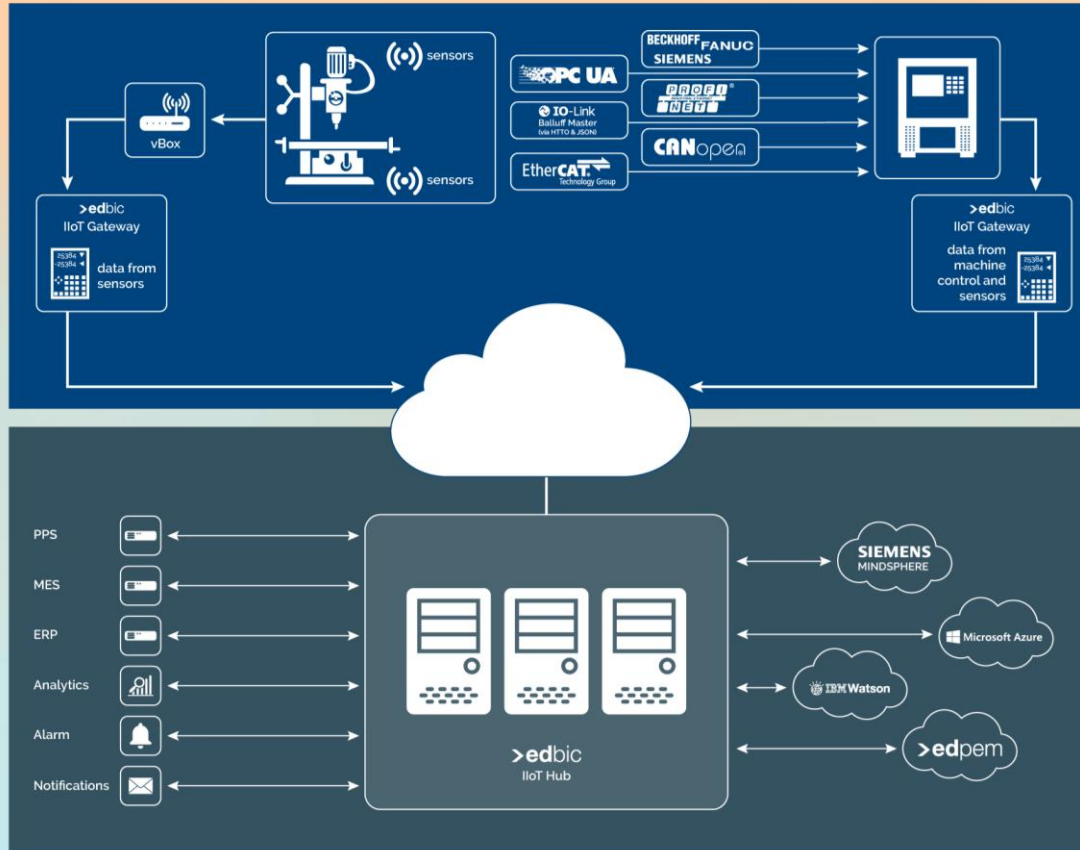
### *Exemple 1: usine de fabrication moderne.*

- Les capteurs de l'Internet des objets (IoT) génèrent un flux continu de données qui peuvent être utilisées pour éviter des interruptions et améliorer l'exploitation. D'après les estimations, une usine moderne qui compte 2 000 équipements peut générer **2 200 téraoctets de données par mois**.
- Le traitement de cette mine de données près de l'équipement est plus rapide et moins onéreux que lorsqu'il faut d'abord les transmettre à un Datacenter distant.
- « Toutefois, il reste préférable d'utiliser une plateforme de données centralisée pour faire le lien avec l'équipement. De cette façon, l'équipement peut, par exemple, recevoir des mises à jour logicielles standardisées et partager des données filtrées qui permettront d'améliorer l'exploitation dans d'autres sites de l'usine. »



## 2- Exemples de cas d'utilisation de l'Edge computing

### *Exemple 1: usine de fabrication moderne.*



**IloT Gateway:**  
collects machine data  
and integrates it into a  
dashboard

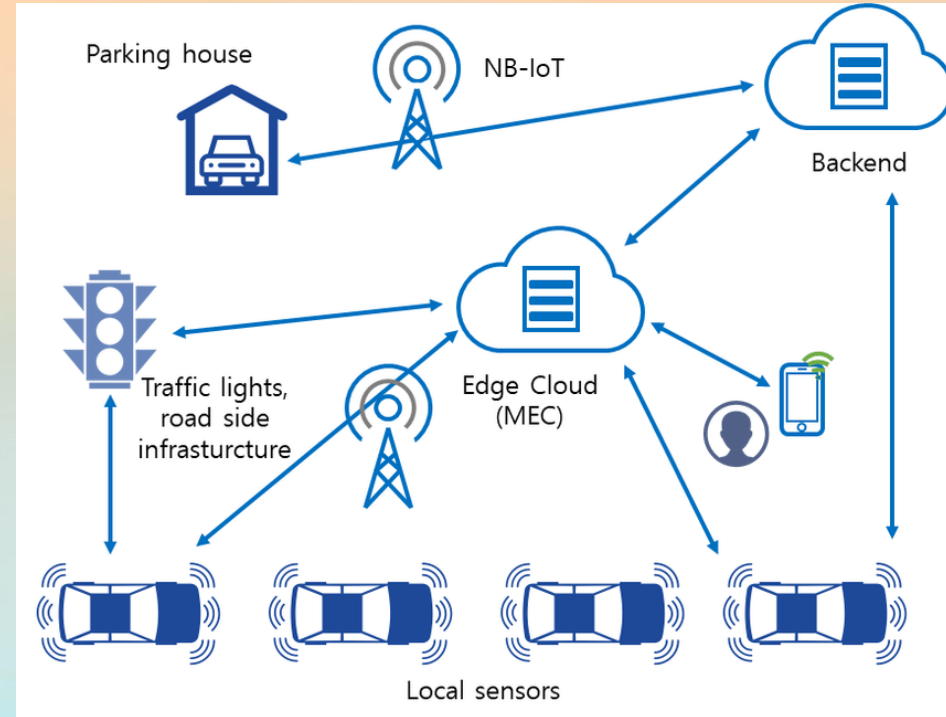
**IloT Hub:**  
prepares those data so  
that various evaluations  
become possible and the  
responsible person, e.g.,  
a machine operator, has  
a clear overall view at all  
times.



## 2- Exemples de cas d'utilisation de l'Edge computing

### *Exemple 2: Autre exemple courant d'utilisation de l'edge computing : les véhicules connectés*

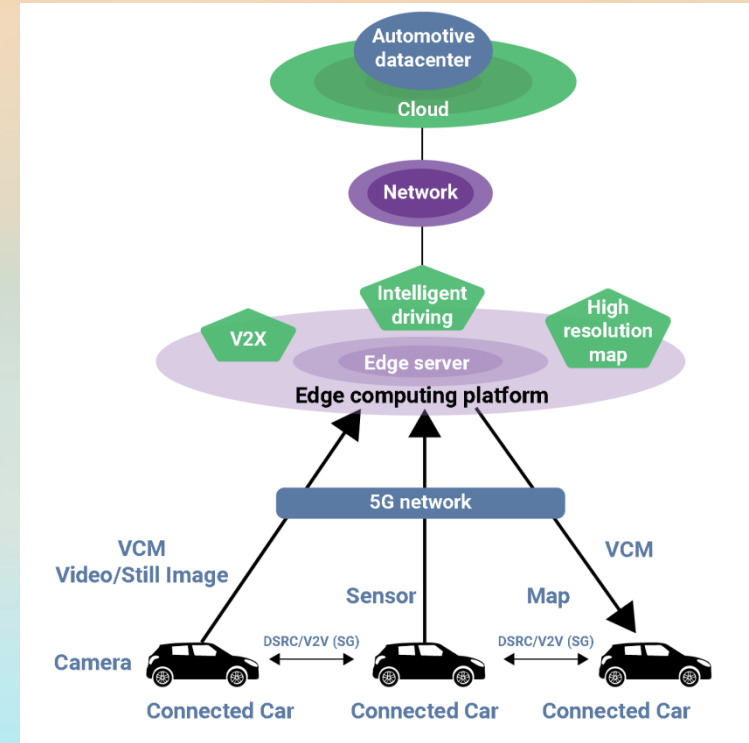
- Les bus et les trains sont équipés d'ordinateurs qui permettent de suivre le flux de passagers et la prestation de services.
- Les livreurs peuvent trouver les trajets les plus rapides grâce à la technologie embarquée dans leur véhicule.
- Lorsqu'une stratégie d'edge computing est mise en œuvre, chaque véhicule exécute la même plateforme standardisée que le reste de la flotte, ce qui rend les services plus fiables et permet de protéger les données de manière uniforme.



## 2- Exemples de cas d'utilisation de l'Edge computing

### *Exemple 3: les véhicules autonomes*

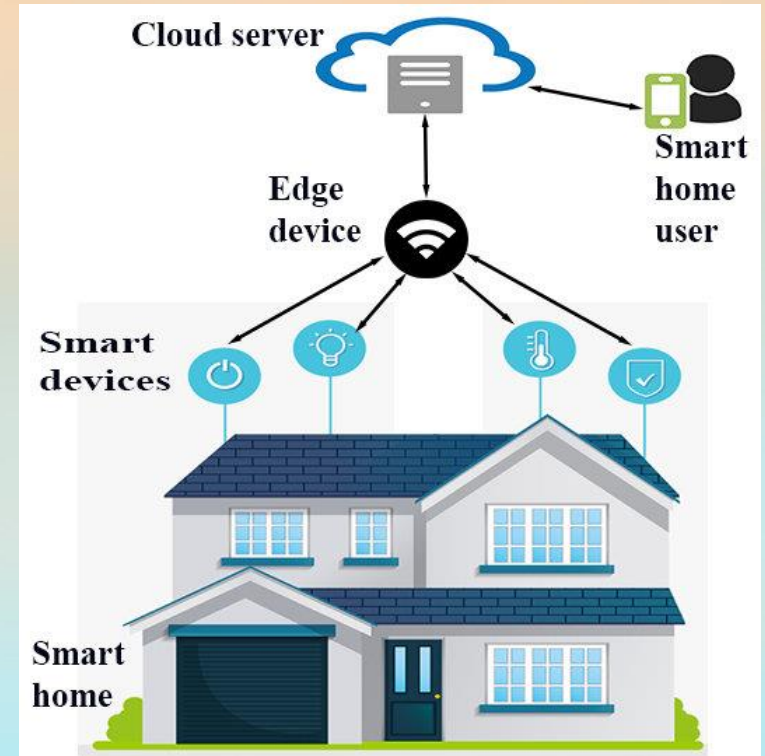
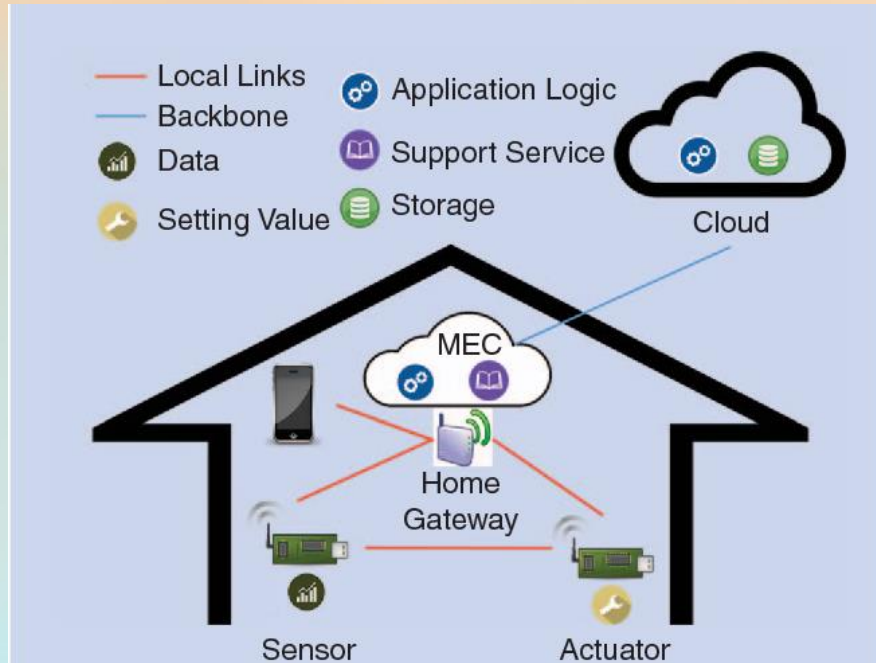
- Un autre exemple d'edge computing qui implique le traitement d'un gros volume de données en temps réel dans une situation où la connexion au réseau peut être instable.
- La technologie de périphérie embarquée permet aux véhicules autonomes d'analyser en temps réel la localisation, la vitesse et d'autres données relatives au véhicule afin de déterminer les meilleurs itinéraires et d'éviter les embouteillages.
- En raison de ce volume, les véhicules autonomes, tels que les voitures sans conducteur, traitent les données des capteurs à bord du véhicule afin de réduire la latence. Ils peuvent cependant toujours se connecter à distance à un point central pour recevoir des mises à jour logicielles.





## 2- Exemples de cas d'utilisation de l'Edge computing

### *Exemple 4: Smart home*



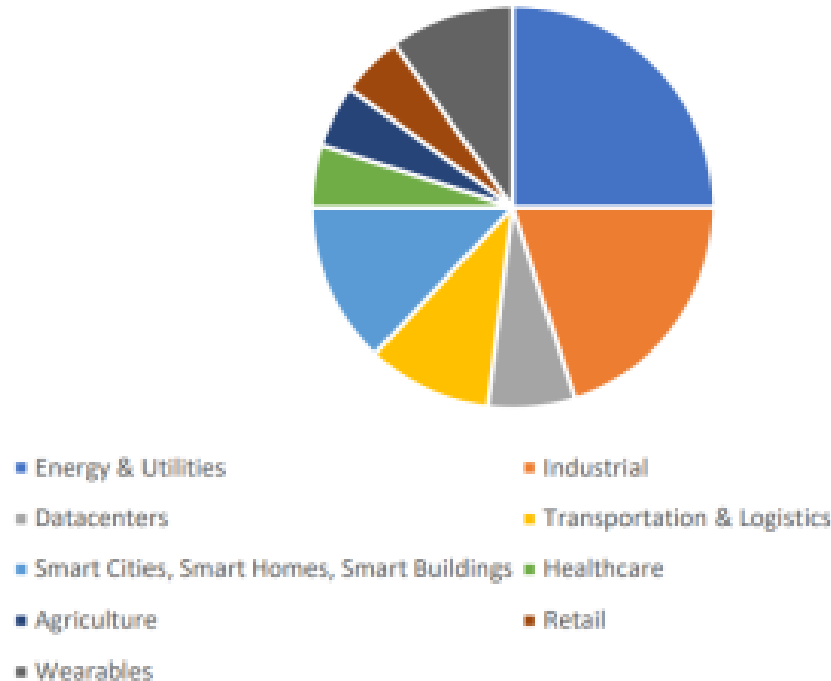
## 2- Exemples de cas d'utilisation de l'Edge computing

### *Exemple 5: les antennes 5G à proximité*

- Les opérateurs de télécommunications exécutent de plus en plus leurs réseaux en recourant à la virtualisation des fonctions réseau, à l'aide de machines virtuelles qui fonctionnent sur du matériel standard à la périphérie du réseau.
- Ces machines virtuelles peuvent remplacer des équipements propriétaires coûteux.
- L'edge computing permet de déplacer des services et applications depuis les datacenters du réseau principal vers la périphérie.

## 2- Exemples de cas d'utilisation de l'Edge computing

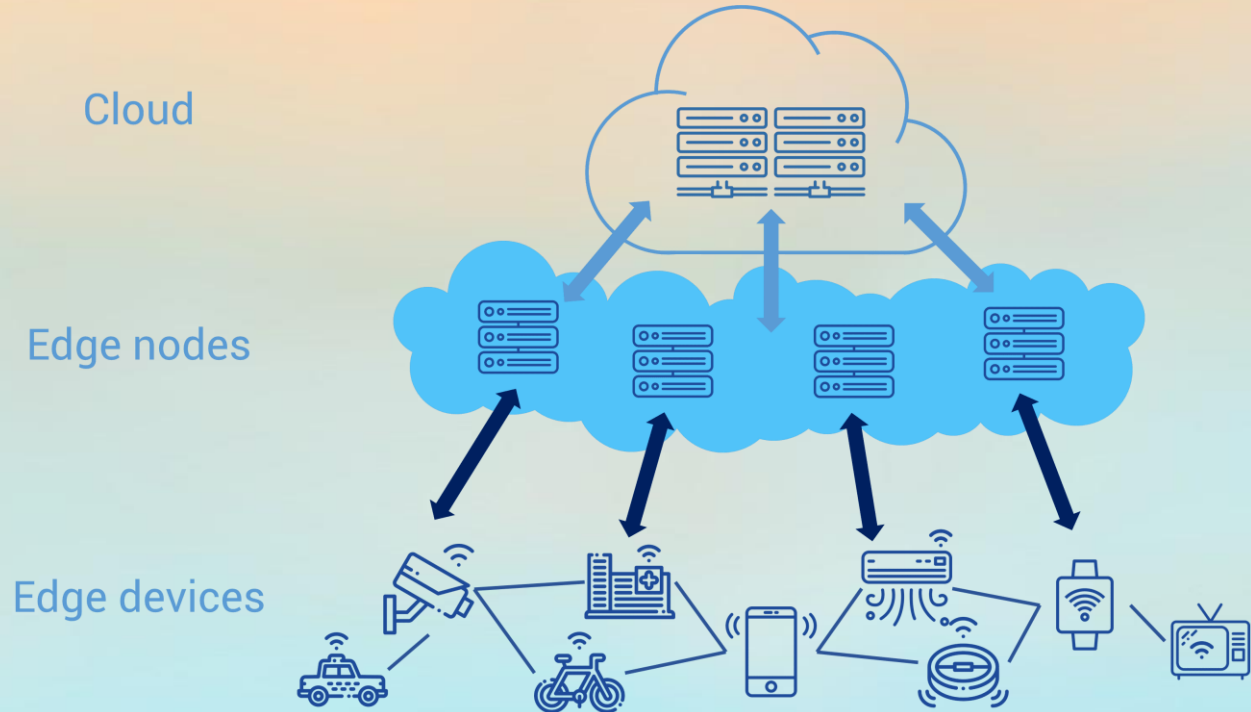
Global edge computing market share,  
by industry vertical, 2020 (%)



### 3- Avantages de l'Edge computing

Alors que les architectures initiales se bornaient à intégrer des capteurs déléguant le traitement des données au Cloud.

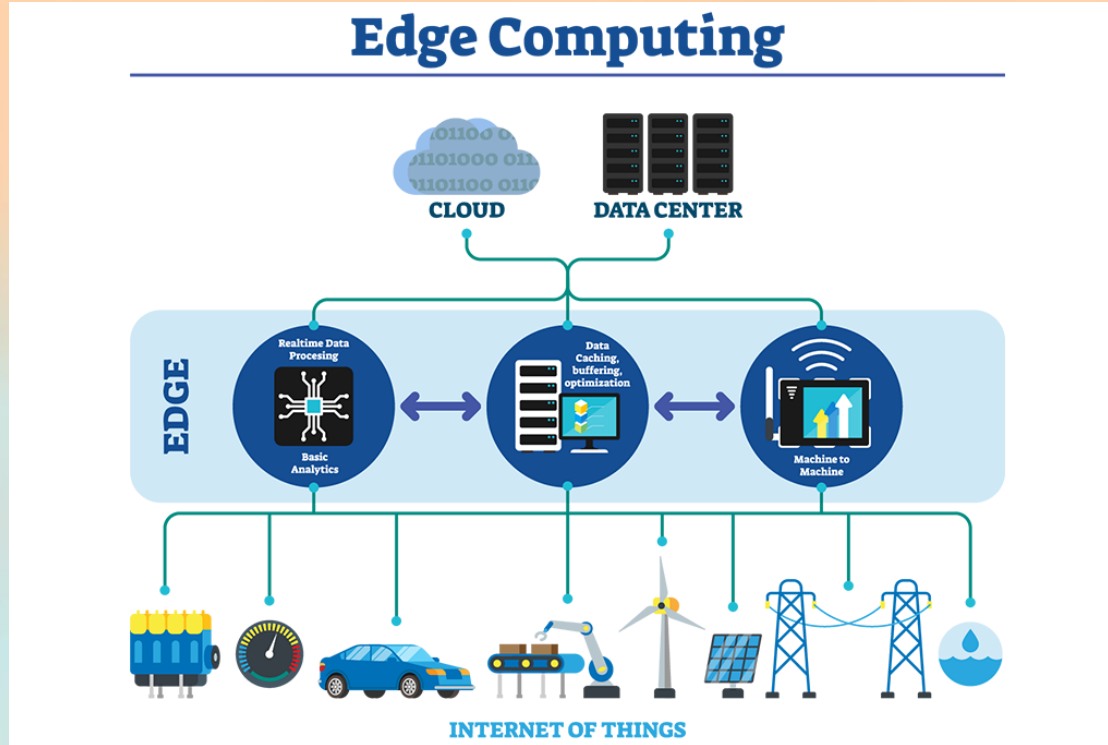
- L'ajout de devices en Edge Computing (périphérie de réseau) permet un traitement partiel des données en amont du Cloud (par exemple un filtrage).
- Cette approche a de nombreux avantages à la fois techniques et économiques



### 3- Avantages de l'Edge computing

1. **Amélioration de la bande passante** : (réduction des accès au Cloud ce qui entraîne également une réduction des coûts) : En assurant le transport et le traitement des données en périphérie et sur les réseaux internes, le Edge permet de réduire la consommation de bande passante dans le cloud ou sur les infrastructures plus classiques.
2. **Réduction des coûts informatiques & réseaux** : Directement dérivée du point précédent, la capture et éventuellement le traitement des données avant le cloud sont nettement moins coûteux que l'envoi de données non filtrées sur les liaisons WAN.
3. **Volonté de traiter les données au plus près des usages applicatifs** : L'Edge Computing permet le déport du traitement des données au plus près du lieu de collecte ou d'usage des équipements de l'IoT. Ceci afin d'augmenter l'efficacité et la rapidité du traitement des données concernées.
4. **Diminution de la latence (temps de réponse) pour des applications “temps réel”** : La liaison à distance avec une informatique centralisée entraîne des phénomènes de latence (se mesurant jusqu'en (s)). → Réduction à quelques (ms) grâce à son positionnement en périphérie des réseaux.

### 3- Avantages de l'Edge computing



Par exemple, dans l'IoT, économiser la durée de vie de la batterie est crucial. Supposons qu'un appareil IoT puisse effectuer la transaction en 10 ms de temps aller-retour (RTT), au lieu de 100 ms RTT.

➤ En conséquence, il peut utiliser 10 fois moins de batterie.

### 3- Avantages de l'Edge computing

#### **6. Simplification des contraintes liées aux exigences réglementaires sur le stockage des données :**

Les principaux fournisseurs permettent l'intégration de fonctionnalités Edge dans leur réseau. Les architectures utilisées au niveau Edge dans les gateways sont assez éloignées de celles des capteurs.

- ✓ Selon l'IoT survey réalisé par la fondation Eclipse (version 2020), 43 % des systèmes au niveau Edge utilisent Linux. Les systèmes d'exploitation utilisés dans les capteurs sont plutôt de type FreeRTOS.

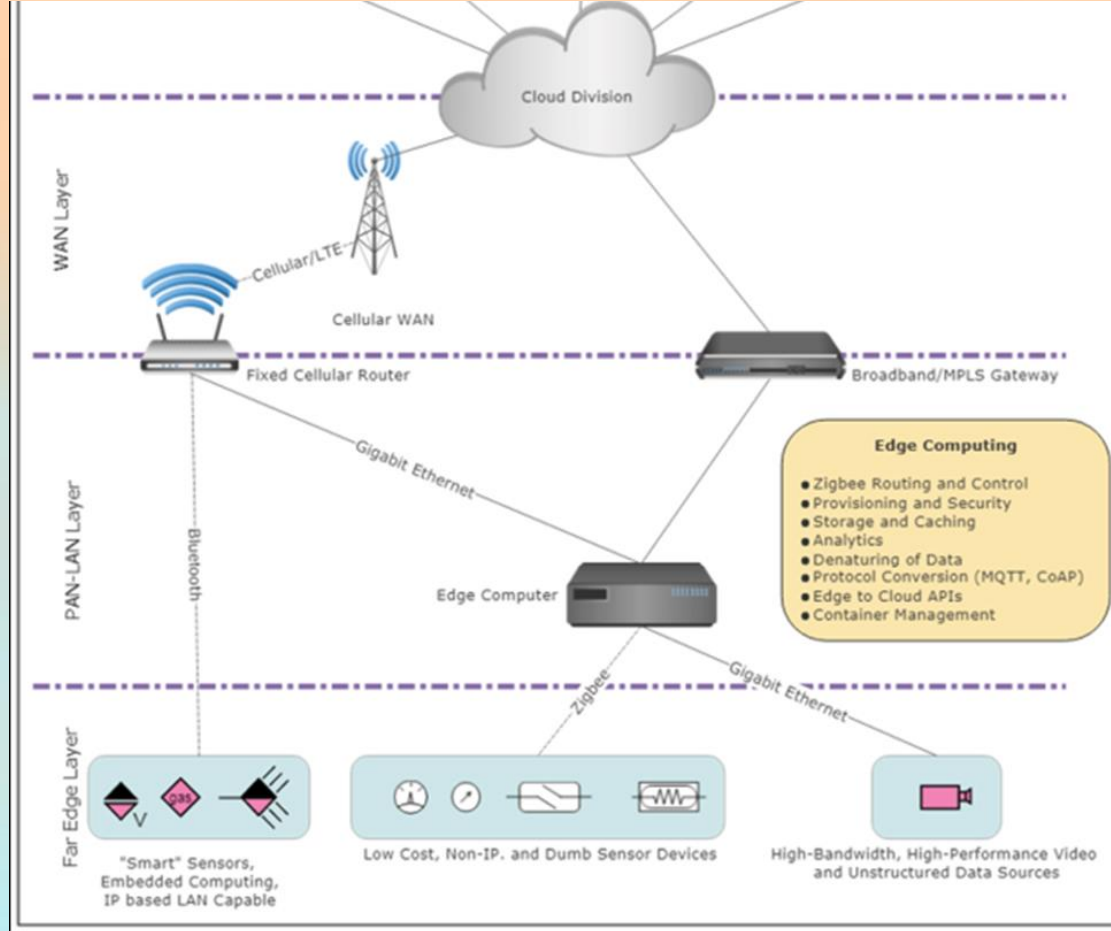
**7. Réduction de l'impact environnemental** : Le Edge Computing, même s'il repose sur les mêmes technologies de datacenter, prend place dans des localisations de proximité, industrielles ou urbaines avec lesquelles il peut créer des synergies durables. Les équipements Edge peuvent permettre une optimisation énergétique et environnementale des infrastructures informatiques.

**8. Potentiel des écosystèmes locaux** : Smart City, Smart Building, antennes 5G, santé et télémédecine, véhicules autonomes -- autant de potentiels technologiques qu'économiques.

**9. Déploiement de la 5G** : La 5G transporte des masses de données que le Edge pourra traiter à proximité.

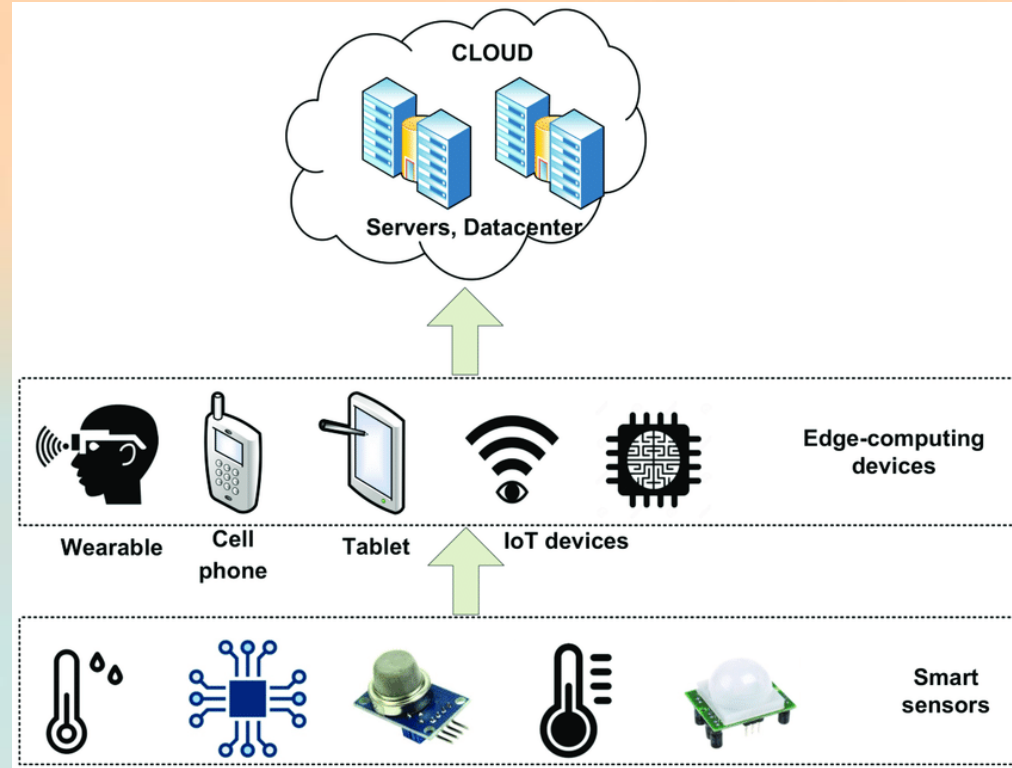
**10. Maintenance simplifiée** : La taille réduite et la conception des micro-centres de données ( $\mu$ DC) qui constituent les Edge nodes facilitera leur maintenance ainsi que leur installation. Ce sont des boîtiers compacts et avec un bon degré de portabilité.

## 4- Architecture et éléments d'un réseau d'Edge computing





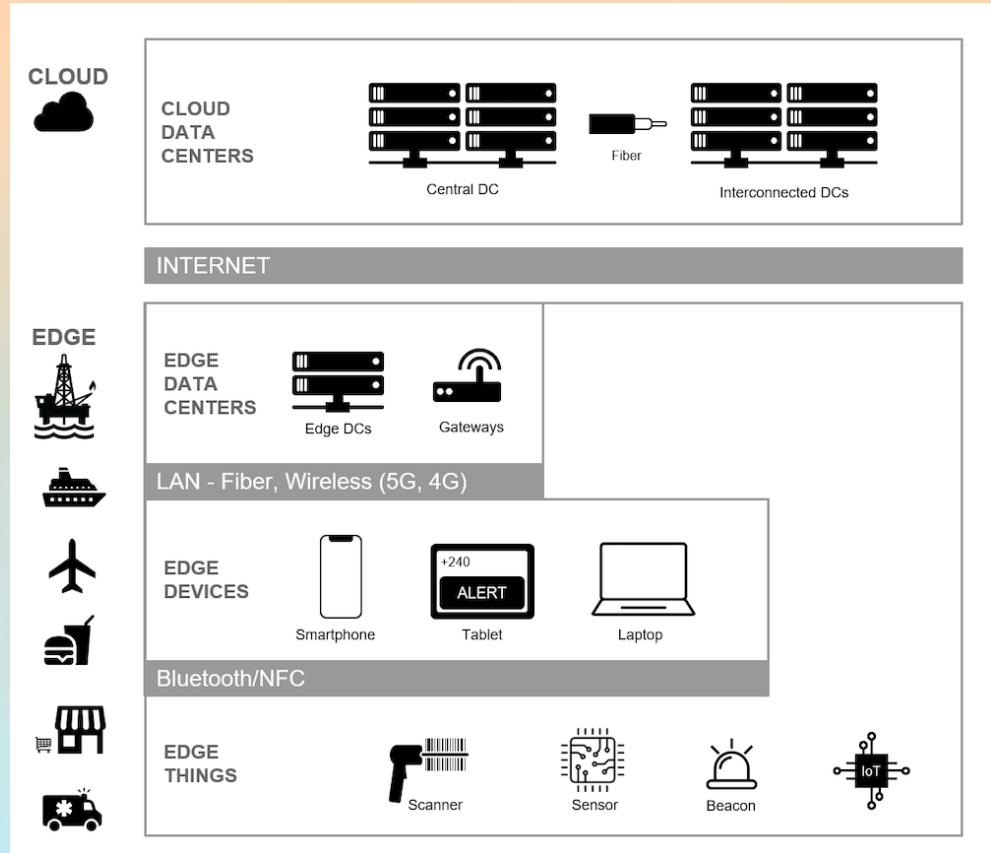
## 4- Architecture et éléments d'un réseau d'Edge computing



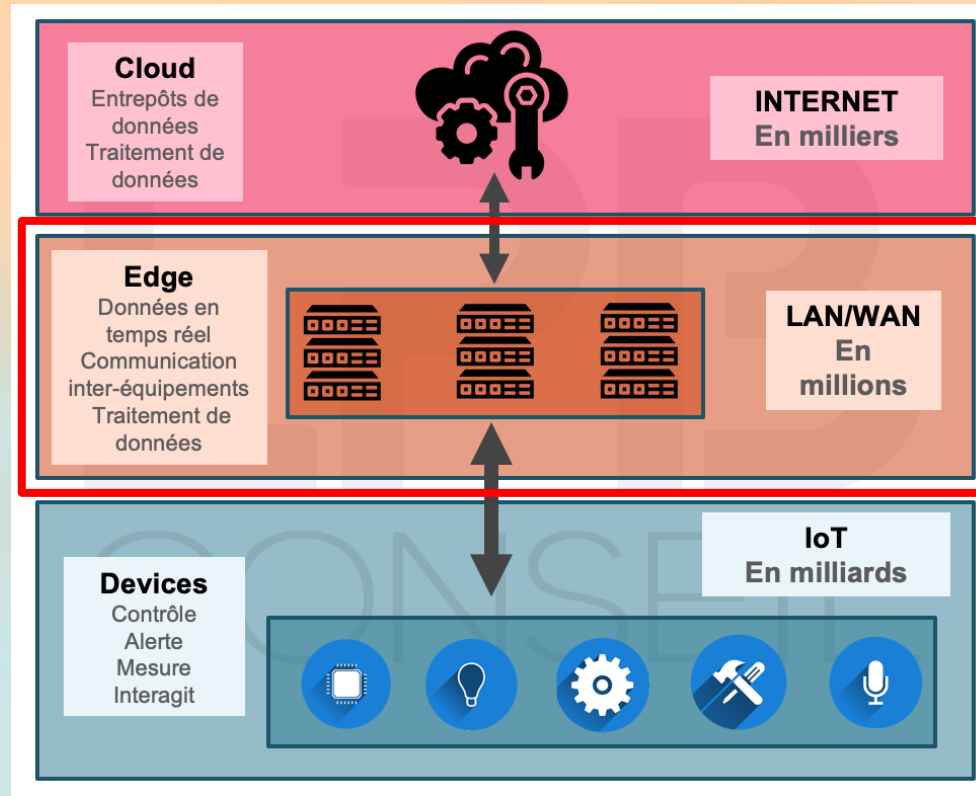
Le diagramme conceptuel du cloud, des appareils informatiques de pointe « edge devices » et des capteurs.

## 4- Architecture et éléments d'un réseau d'Edge computing

Une infrastructure Edge complète se révèle assez classique, on évoque des micro ou pico datacenters souvent autonomes - *en réalité ils sont pilotés à distance* - qui réunissent les trois couches informatiques 'classiques' que sont le *serveur, le computing et stockage des données et le réseau.*



## 4- Architecture et éléments d'un réseau d'Edge computing



Les différents modèles d'infrastructure Edge ?

## 4- Architecture et éléments d'un réseau d'Edge computing

### Device Edge



- Dispositif
- Connecté au réseau ou intégré
- À l'extérieur (p. ex., lampe de rue) ou à l'intérieur (p. ex., équipement de fabrication)

### Micro Edge



- 0 à 4 racks
- Petit nombre de serveurs ou racks
- Sur site de l'entreprise (p. ex., retail, usine, armoire IT, municipalités)

### Datacenter Edge distribué



- Petit datacenter
- 5 à 20 racks
- Sur site de l'entreprise (p. ex., entrepôt, bureau), site de télécommunications, parking

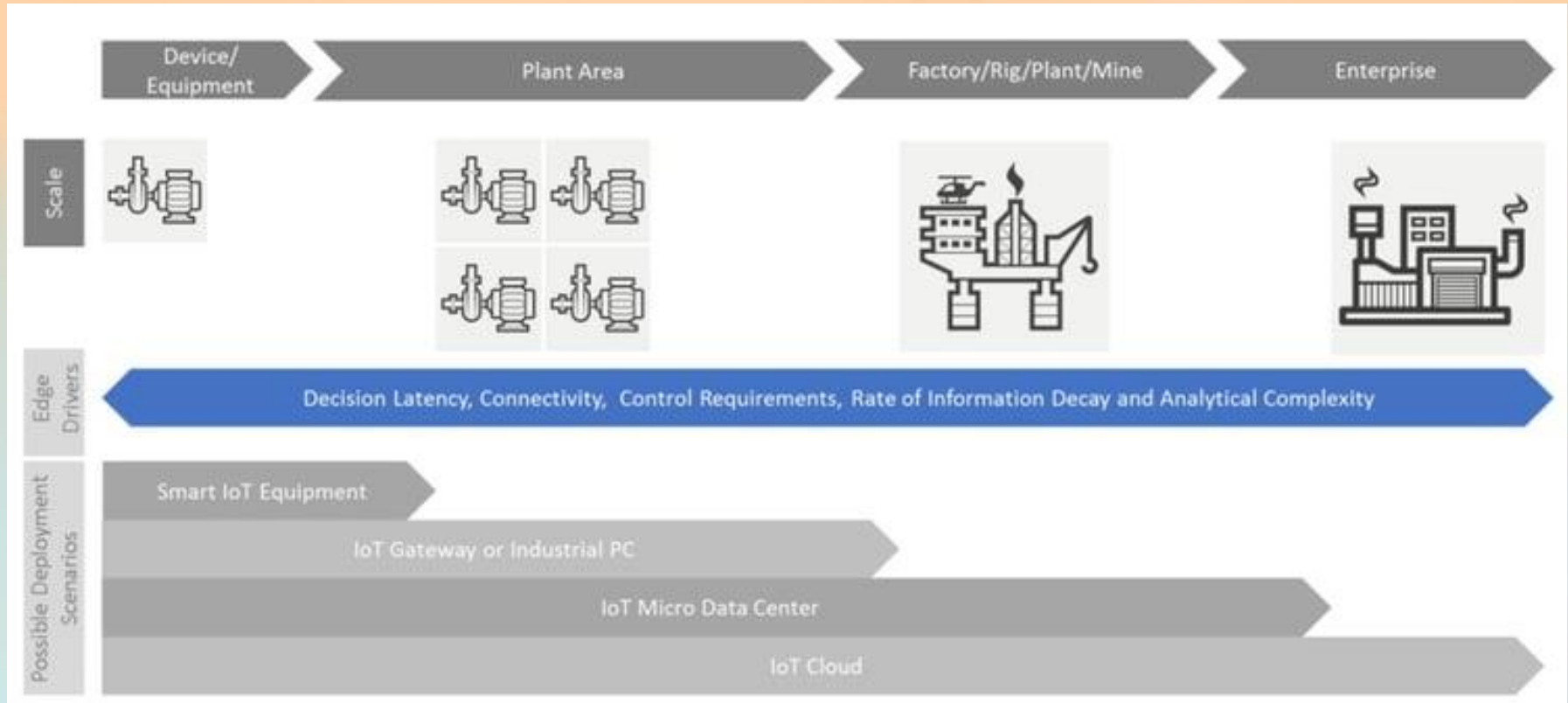
### Datacenter Edge régional



- Datacenter de taille moyenne
- Plus de 20 racks
- Site régional (p. ex. ville de niveau 2 ou 3)

## Les différents modèles d'infrastructure Edge

## 4- Architecture et éléments d'un réseau d'Edge computing



Les types de déploiements d'infrastructure Edge

## 5- L'edge computing pour les télécommunications

- Déplacer les charges de travail et les services vers la périphérie du réseau.
- Fournir de nouveaux services.
- Des stratégies d'edge computing pour simplifier l'exploitation des réseaux et améliorer la flexibilité, la disponibilité, l'efficacité, la fiabilité et l'évolutivité.

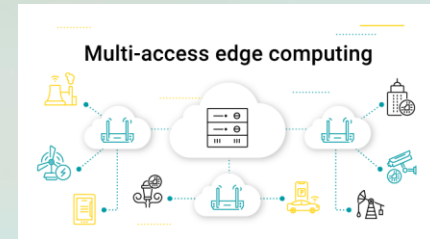
**NFV**



**vRAN**



**MEC**





# 5- L'edge computing pour les télécommunications

## ➤ Un réseau vRAN, qu'est-ce que c'est ?

Les réseaux RAN sont des points de connexion entre les appareils des utilisateurs finaux et le reste du réseau d'un opérateur. À l'instar des fonctions réseau, les réseaux RAN peuvent être virtualisés, créant ainsi le réseau d'accès radio virtuel, ou vRAN.

Le déploiement continu des réseaux 5G repose souvent sur les réseaux vRAN pour simplifier l'exploitation, desservir davantage d'appareils et répondre aux besoins d'applications plus exigeantes.

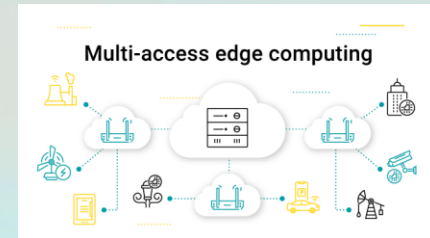
NFV



vRAN



MEC





## 5- L'edge computing pour les télécommunications

- **MEC, ou Multi-access edge computing ?**
  - L'informatique de périphérie « **Edge computing** » est considérée comme un concept utilisé pour décrire comment les réseaux sont améliorés en apportant des ressources à la "périphérie du réseau".
  - L'informatique de périphérie multi-accès « **Multi-access edge computing** » est un ensemble de normes conçues pour aider les organisations à fournir des capacités d'informatique de périphérie.

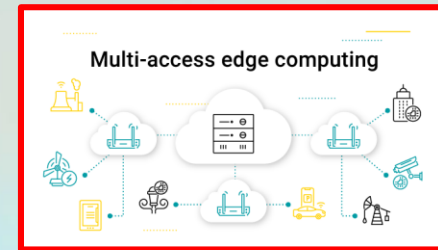
NFV



vRAN

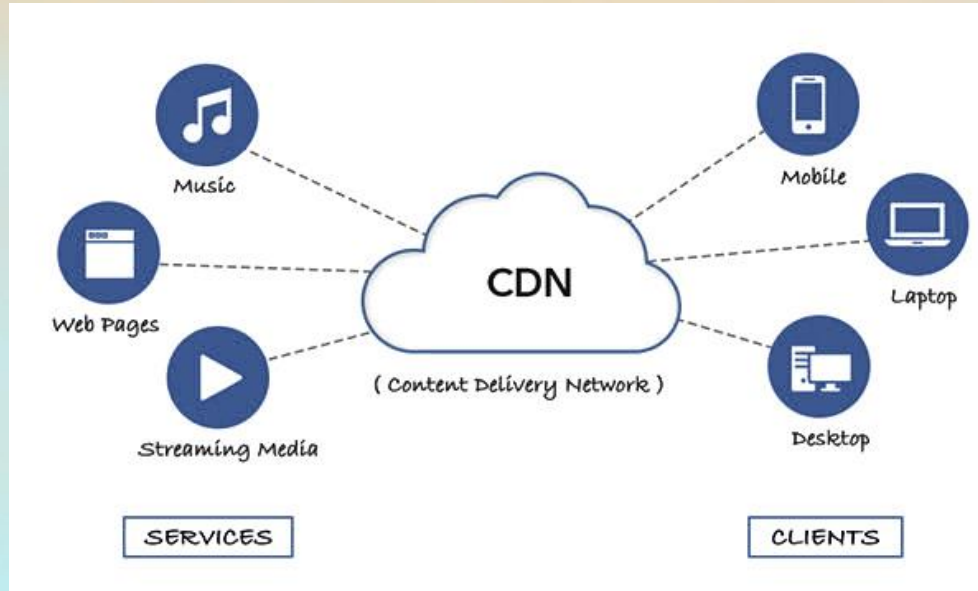


MEC



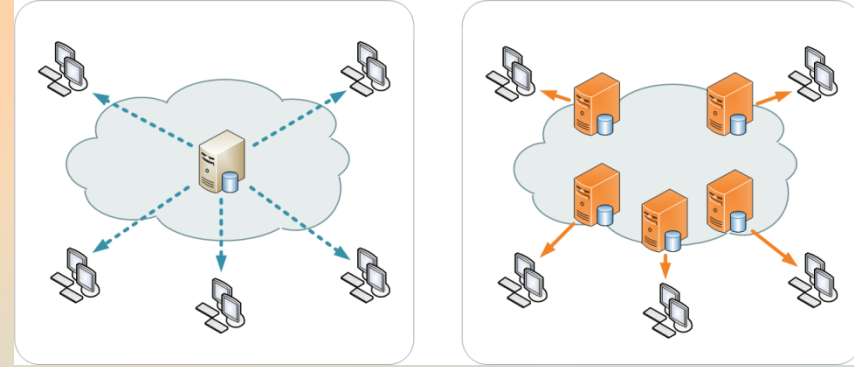
## 6- CDN VS EDGE COMPUTING

Le principe de l'EC est un peu celui des **CDN** (Content Delivery Network) qui dupliquent et stockent l'information dans différents lieux géographiques afin de la livrer au plus près de ceux qui la consomment, que ce soit un site web, de la vidéo ou tout autre contenu du web. Cela réduit la latence, améliore la performance et l'expérience utilisateur.



## 6- CDN VS EDGE COMPUTING

- Les réseaux de diffusion de contenu, ou CDN, consistent en un réseau de serveurs qui hébergent des copies de données en cache.
- Les données sur un réseau CDN sont distribuées plutôt que de les conserver sur un serveur central.

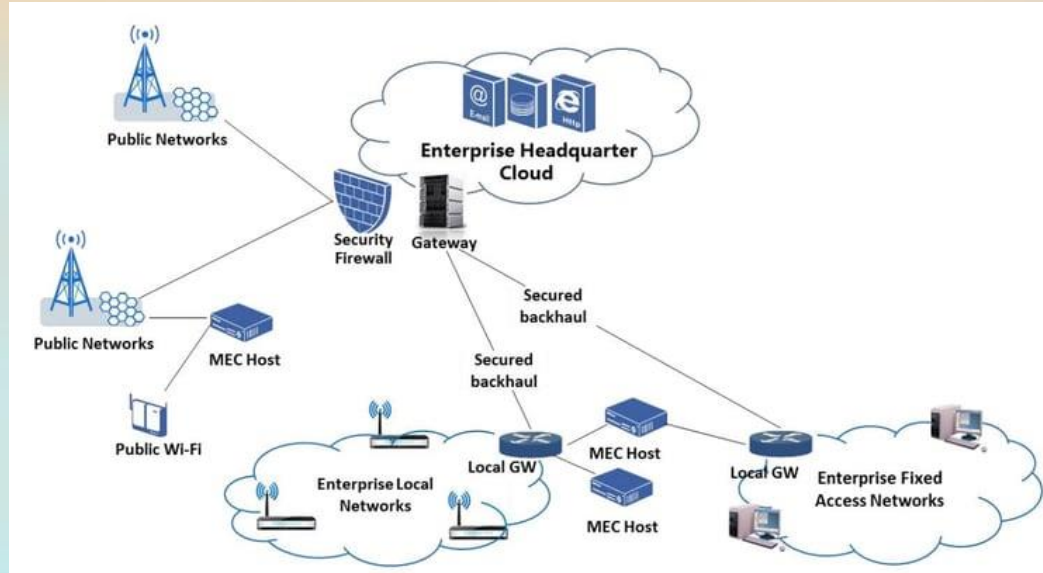


### Objectifs CDN :

- Fournir aux utilisateurs un accès plus rapide et plus fiable aux données
- Les temps de réponse du réseau entre un serveur CDN local et un utilisateur final donné sont susceptibles d'être inférieurs à ce qu'ils seraient lorsque l'utilisateur final doit accéder aux données sur un serveur central.
- Si un serveur d'un CDN tombe en panne, le trafic peut être redirigé vers d'autres, ce qui augmente la disponibilité des données.

## 6- CDN VS EDGE COMPUTING

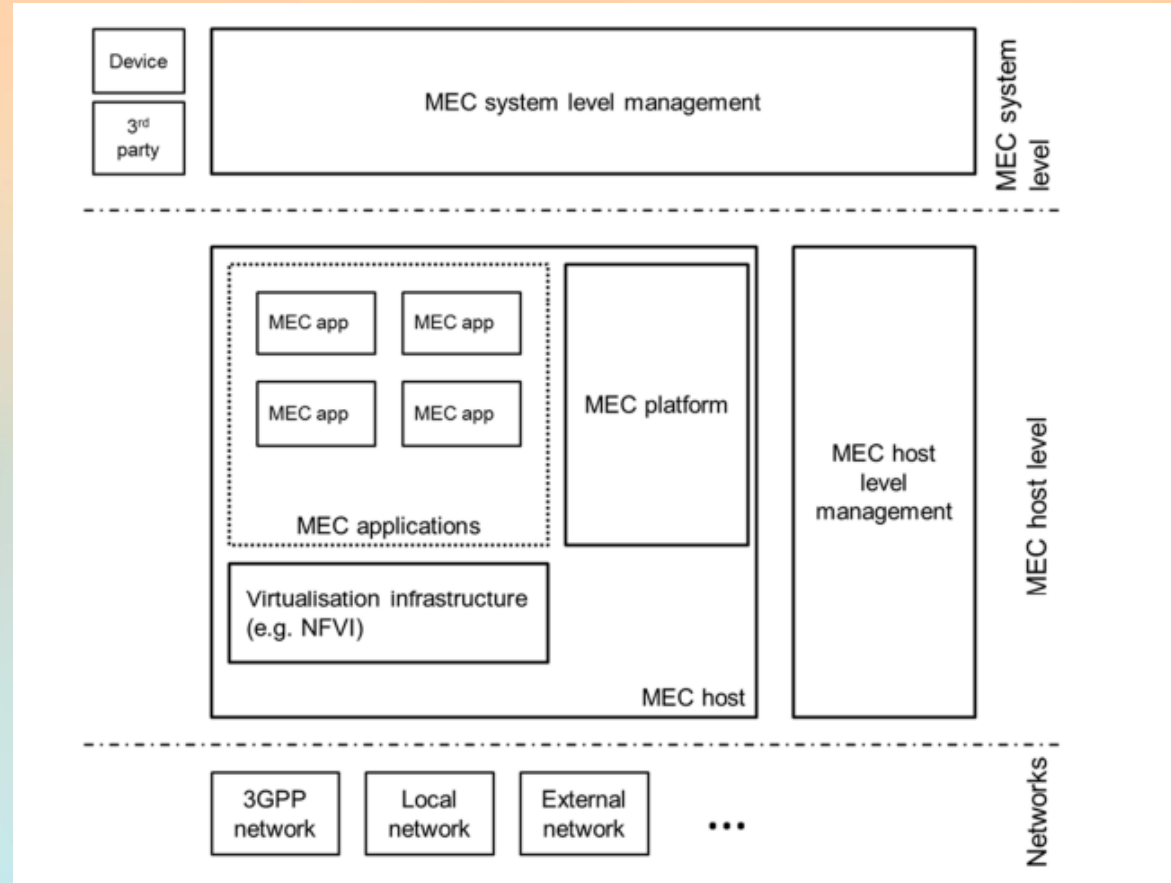
- **Edge computing** est un terme général désignant un environnement de services informatiques basé sur le cloud situé à la périphérie d'un réseau.
- **L'Edge Computing multi-accès (MEC)** est l'architecture standard d'Edge Computing créée par le groupe MEC de l'Institut européen des normes de télécommunications (ETSI).



Déploiement MEC sur différents réseaux d'entreprise

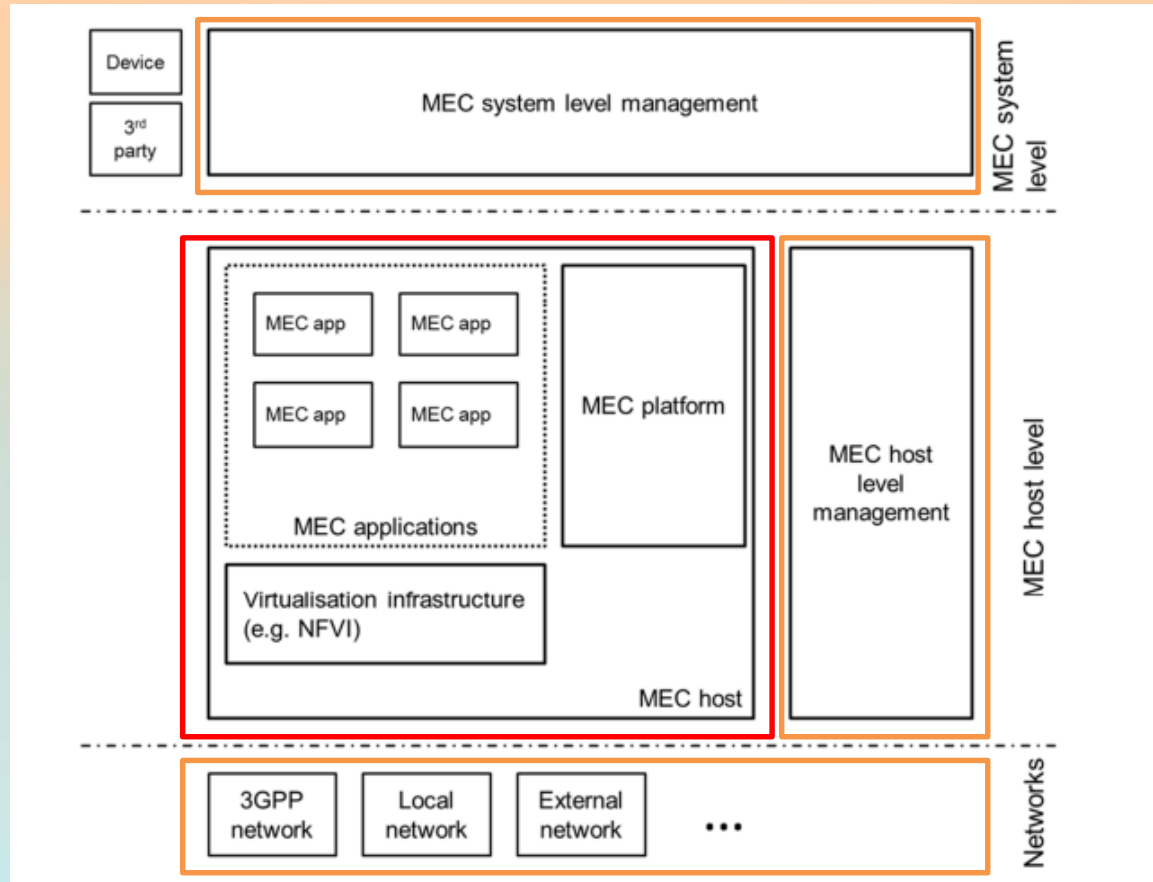
# 7- ARCHITECTURE du MEC

**MEC** s'appelait auparavant "Mobile Edge Computing", mais en mars 2017, le groupe ETSI MEC et sa norme associée ont remplacé "mobile" par "multi-accès" en réponse aux avantages émergents de la technologie.



**CADRE DE L'EDGE COMPUTING MULTI-ACCÈS SELON ETSI**

# 7- ARCHITECTURE du MEC



## ✓ MEC host :

- Plateforme MEC
- Applications MEC
- Infrastructure de virtualisation

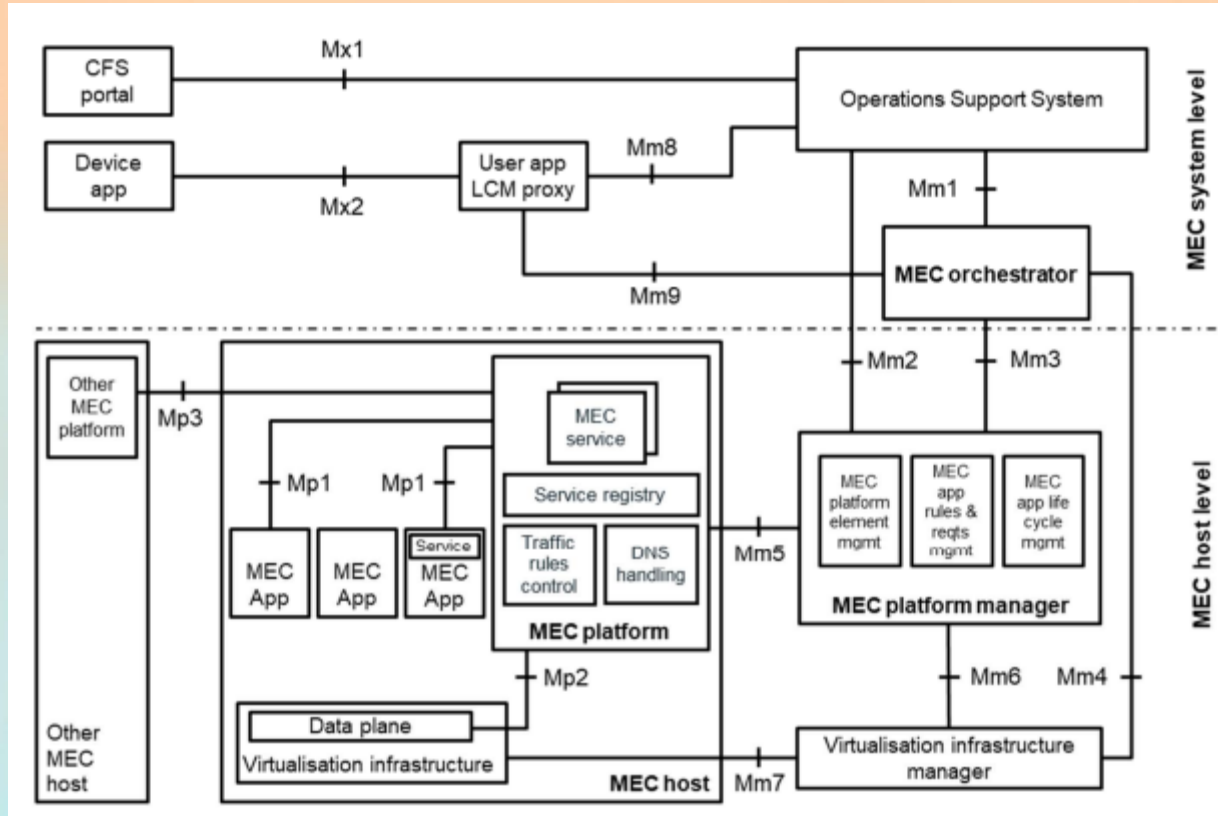
## ✓ MEC system level management

## ✓ MEC host level Management

✓ External network : les entités externes liées, c'est-à-dire les entités au niveau du réseau.

# 7- ARCHITECTURE du MEC

L'architecture de référence montre les éléments fonctionnels qui composent le système MEC

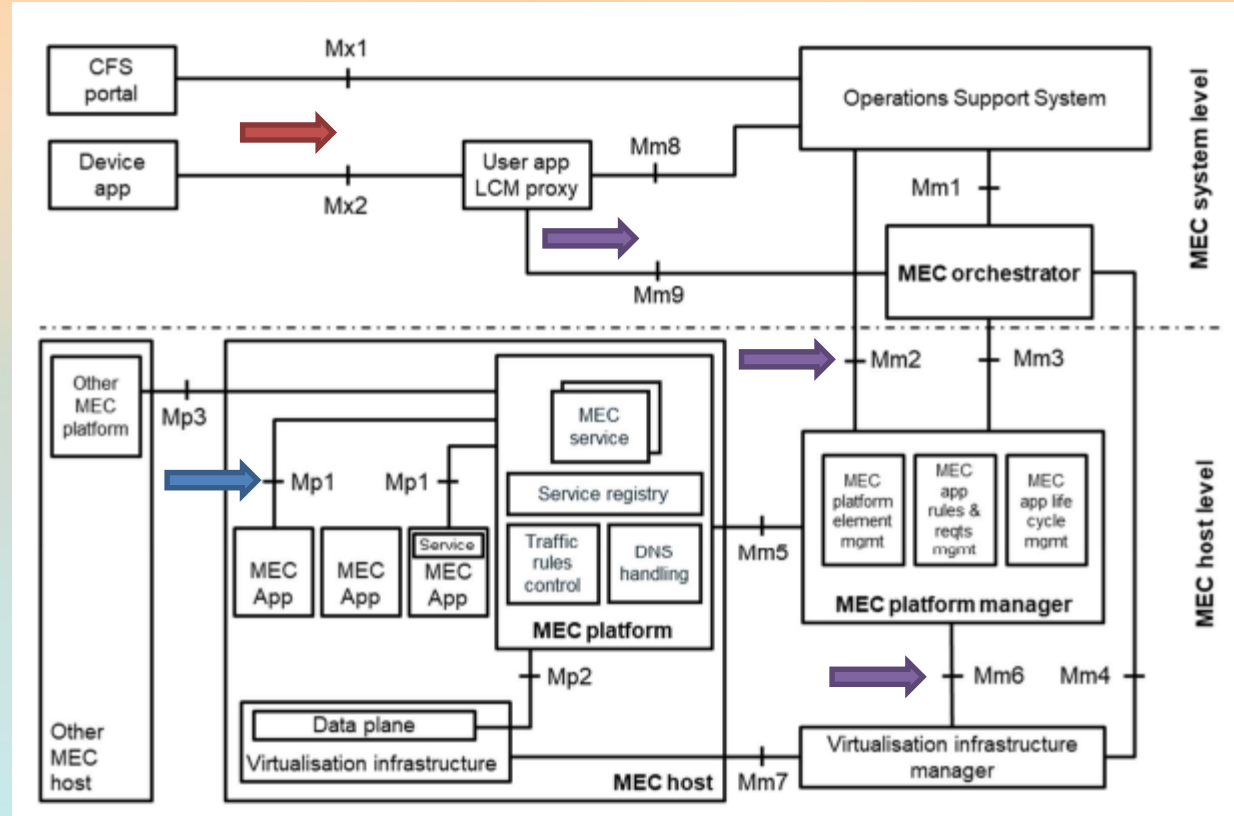


ARCHITECTURE DU MEC SELON ETSI

# 7- ARCHITECTURE du MEC

Trois groupes de points de référence sont définis entre les entités système :

- points de référence concernant la fonctionnalité de la plate-forme MEC (Mp)
- points de référence de gestion (Mm)
- points de référence se connectant à des entités externes (Mx).



ARCHITECTURE DU MEC SELON ETSI



**FIN**