

## Introduction

L'avènement d'Internet a entraîné la multiplication des applications et de services de technologie de l'information (IT) poussant ainsi les industries et les acteurs de l'IT à chercher de nouvelles approches pour répondre aux besoins incessants des clients en termes de services innovants, de Qualité de Service (QoS), de sécurité, de disponibilité de ressources, de bande passante, etc. Ceci a conduit les géants de l'IT à mettre en place de nouveaux modèles de communication, de traitement, de stockage et d'échange de données. C'est le Cloud computing et l'Edge computing qui est, de nos jours, les facteurs clés du succès et de renforcement des entreprises. Cependant, malgré ses nombreux avantages, il y a plusieurs facteurs qui laissent encore les entreprises et les particuliers réticents face à la propagation des services basés sur les plateformes de traitement de données informatiques.

## Présentation des systèmes Cloud

### II.1.1°) Cloud Computing

#### ➤ Évolution des technologies d'information

Depuis 1964 et avec l'introduction des System/360 par IBM, les technologies de l'information ont connu un essor considérable et continu allant des mainframes en début des années 60's et 70's jusqu'au Cloud Computing qui a commencé à émerger dans le monde de l'IT en 2010. Ce développement rapide des technologies d'information a permis aux utilisateurs d'obtenir un ensemble services qui ne cesse de croître de plus en plus.

La figure 1 illustre cette évolution technologique. A partir des années 60's, les premiers ordinateurs ont vu le jour : les mainframes. Ces derniers sont des unités géantes de traitement utilisées par de grandes organisations et inaccessibles aux particuliers. Par la suite et au cours des années 80's, il y eut l'introduction des ordinateurs personnels (PCs) qui ont permis à de simples utilisateurs d'effectuer quelques opérations et traitements élémentaires sur leurs propres machines. Les années 90's furent l'ère des architectures client/serveur favorisant le succès des bases de données et permettant d'interconnecter les terminaux en local. La période allant de la fin des années 90's jusqu'au début des années 2000 était considérée comme étant le tournant dans l'histoire de l'IT. Cette époque a été caractérisée par la démocratisation de l'Internet, cette technologie qui a facilité l'accès à l'information, le partage des données, la communication, etc. Et suite à la prolifération d'Internet, un nouveau modèle de stockage et partage de fichiers, d'échange de données, de traitement et de communication a commencé à émerger à partir de 2010, c'est le Cloud computing qui est la 5ème génération de l'IT.

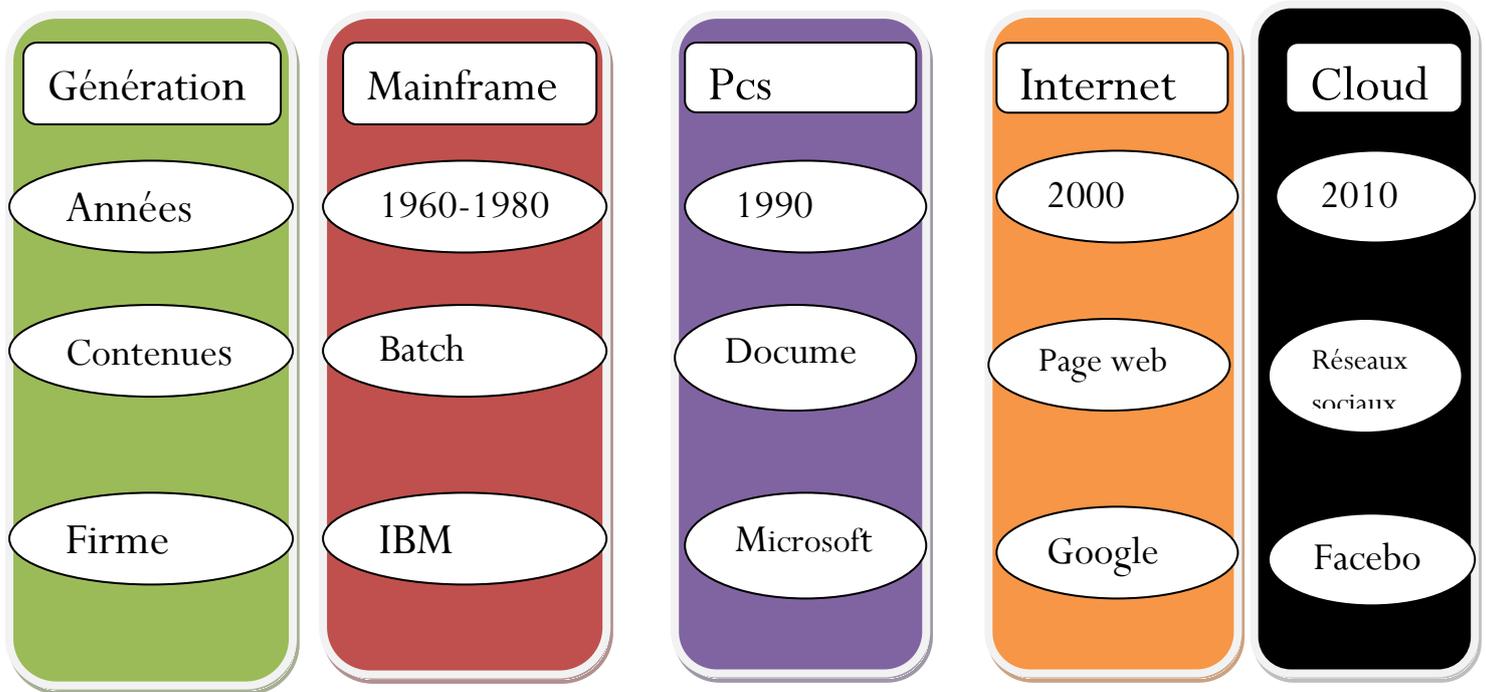


Figure 1 Évolution des technologies d'information

## Définition du Cloud

Il existe de nombreuses définitions du terme Cloud computing (CC) et il y a peu de consensus sur une seule et universelle définition. L'une des définitions la plus utilisée est celle proposée par l'Institut National des Standards et de la Technologie (National Institute of Standards and Technology - NIST) [1] qui dit que le Cloud computing est « un modèle permettant un accès omniprésent, commode et à la demande à un ensemble de ressources de calcul configurables et partagées (exemples : réseaux, serveurs, stockage, applications et services) qui peuvent être allouées aux utilisateurs avec le minimum d'effort de gestion ou d'interaction avec le prestataire de service ».

De nombreuses autres définitions ont été données au Cloud computing par exemple : « le Cloud computing est défini aussi comme un environnement d'exécution élastique de ressources impliquant de multiples acteurs pour offrir un service tarifié avec un certain niveau de qualité de service. ». Ce qui fait sa force est qu'il est capable de fournir à la demande de meilleurs services de partage de données, de collaboration, de stockage et de traitement sans procéder à de lourds investissements dans de nouvelles infrastructures, et ce, en externalisant une partie de ses données, logiciels et plate-forme dans les centres de données. De plus, les utilisateurs ne payeront que la quantité des ressources louées d'où la notion de « pay as you go » qui est la caractéristique fondamentale de l'infrastructure Cloud.

### ➤ Composants du Cloud computing

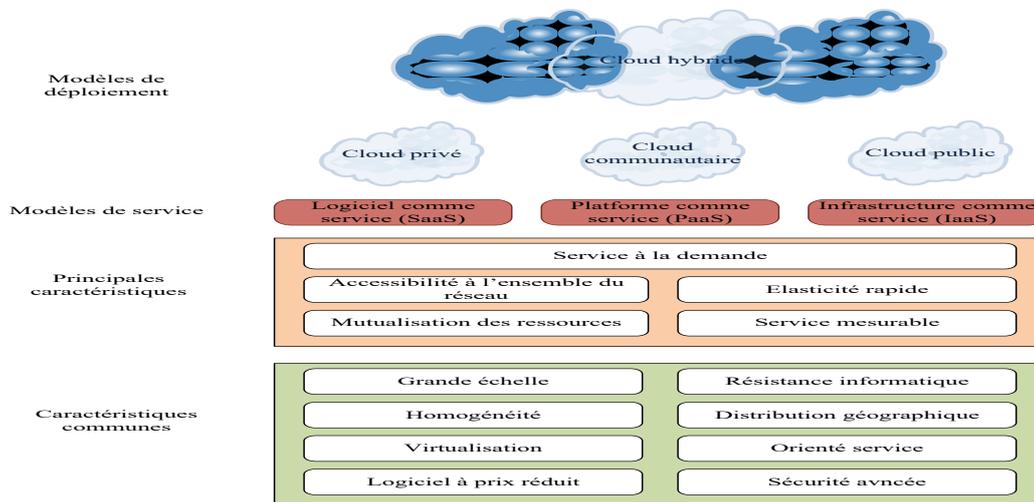


Figure 2 : Présentation des différentes composantes du Cloud [2].

Notre architecture nous montre que le Cloud est composé de cinq caractéristiques essentielles, trois modèles de service et quatre modèles de déploiement. Nous détaillerons ces différentes notions dans les sections suivantes.

### ➤ Caractéristiques du Cloud

Différents caractéristiques vont être développées qui font les points forts et qui sont derrière l'essor du Cloud.

#### ✓ Service à la demande (On-demand self-service)

Un utilisateur peut allouer unilatéralement des ressources informatiques (serveurs, réseau, stockage, environnement d'exécution, application) au besoin, de façon automatique et sans nécessité d'interaction humaine avec chaque fournisseur de services ;

#### ✓ Large accès réseau (Broad network Access)

Les ressources sont disponibles sur le réseau et peuvent être allouées en utilisant des plateformes hétérogènes de client lourd ou léger (téléphone portable, ordinateur portable, PDAs, etc.) ;

#### ✓ Mutualisation des ressources (Resource pooling)

Les ressources Cloud computing sont disponibles à travers le réseau et accessibles via des mécanismes standards qui favorisent leurs utilisations à partir des appareils clients hétérogènes, voire légères (ex ordinateurs portables, téléphones, tablettes) ;

#### ✓ Élasticité rapide (rapid elasticity)

Le Cloud peut augmenter (scale up) et diminuer (scale down) d'une façon dynamique et automatique la quantité des ressources allouées selon les besoins et les demandes des utilisateurs. Cette variation est inaperçue pour l'utilisateur. En effet, les ressources disponibles semblent être illimitées et la quantité demandée peut être adaptée à tout moment ;

#### ✓ Services mesurés (Measured service)

Toutes les ressources allouées peuvent être surveillées et contrôlées afin de mesurer leurs consommations avec un niveau d'abstraction approprié selon le type du service (ex stockage, temps de calcul, bande passante).

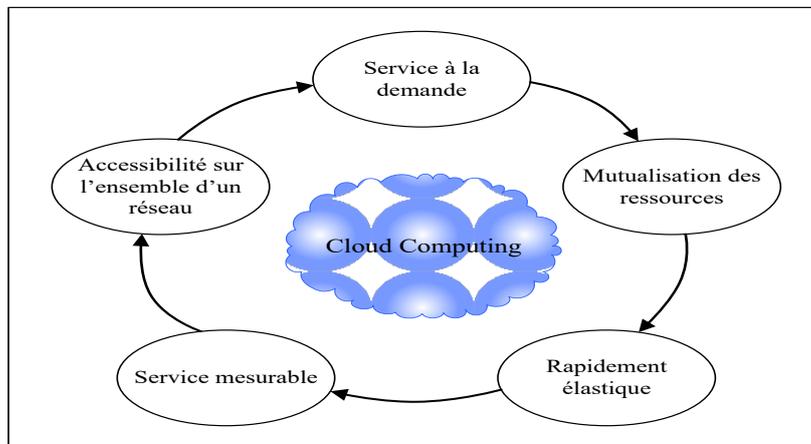


Figure 3 Les caractéristiques du Cloud [3]

### ➤ Les modèles de service

Dans un environnement Cloud, tout est offert comme service, qu'il soit des ressources de stockage, de calcul, de la plate-forme, etc. Et selon le type de service fourni, les services du Cloud peuvent être classés en trois catégories : IaaS, PaaS, SaaS. Ci-dessous est représenté les différents services du Cloud.

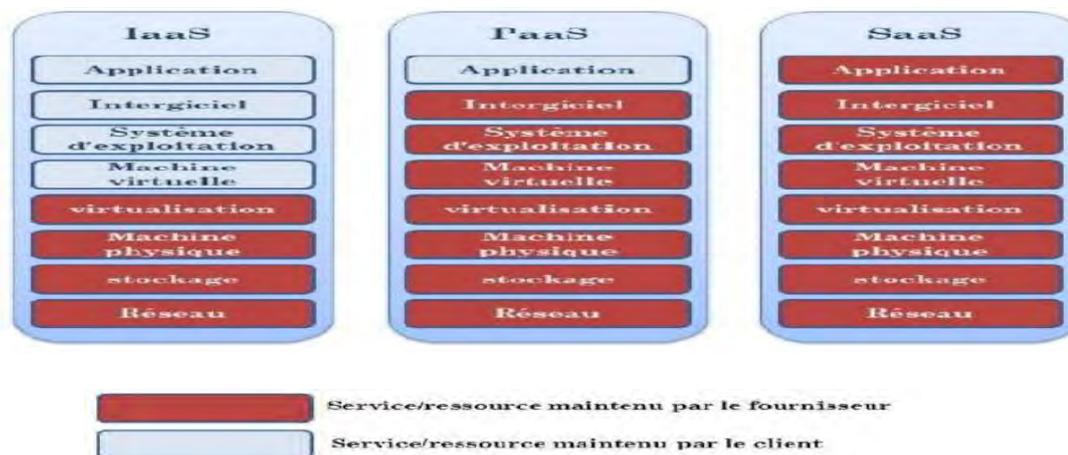


Figure 4 Modèles de services du Cloud [4]

### ✓ IaaS (Infrastructure as a Service)

Les services du Cloud computing de type IaaS correspondent à des ressources d'infrastructures offertes à la demande. Ces ressources sont des ressources de calculs, de stockage ou de réseau et peuvent être soit virtuelles, soit physiques. Le fournisseur a la gestion des couches Calcul, Stockage, Réseau et Virtualisation. L'utilisateur des ressources IaaS est responsable de la gestion de toutes les couches à partir et au-dessus du

système d'exploitation. L'utilisateur n'a ni le contrôle, ni la gestion, ni la visibilité de l'infrastructure sous-jacente. Parmi les fournisseurs d'IaaS les plus connus, nous citons : Amazon EC2, GoGrid, Flexiscale.

### ✓ **PaaS (Platform as a Service)**

Dans cette catégorie, c'est la plateforme qui est offerte comme service. Dans ce cas, les utilisateurs n'ont pas à mettre en place un environnement de développement sur leurs propres machines. Un environnement d'exécution leur est fourni. Ainsi, ils peuvent créer leurs propres applications et programmes en utilisant les outils et les bibliothèques offertes par le prestataire de la plateforme. Parmi les fournisseurs de PaaS, nous citons : Google AppEngine et Microsoft Azure.

### ✓ **SaaS (Software as a Service)**

Dans ce cas, le logiciel est offert comme service. Il consiste à offrir des applications qui sont déjà installées et exécutées sur une plateforme Cloud. En effet, ce type de service permet à l'utilisateur d'exploiter uniquement des applications offertes par le prestataire de service sans pour autant gérer et contrôler l'infrastructure Cloud (réseau, serveurs, système d'exploitation, stockage, etc.). Parmi les implémentations les plus répandues du SaaS, nous trouvons les services offerts par Google, comme : Google Mail, Google Docs et Google Calender.

## ➤ **Modèles de déploiement des services Cloud**

On note quatre(4) modèles de déploiement pour le Cloud computing : le Cloud privé, le Cloud public et le Cloud hybride.

### ✓ **Cloud public**

Ce modèle de déploiement est accessible à un large public, particulier et entreprises. Il est géré par des organisations externes qui louent les ressources de stockage, de traitement, de calcul, etc. à travers Internet. Généralement, les entreprises et personnes qui désirent lancer rapidement un service sur le marché et qui, de plus, n'ont pas de contraintes strictes en termes de sécurité, font appel au Cloud public à travers lequel elles fournissent leurs services. Ce modèle de Cloud offre une flexibilité et une facilité d'exploitation des ressources. Néanmoins, beaucoup de personnes éprouvent une certaine réticence quant à l'adoption des solutions du Cloud public. En effet, il y a encore des interrogations concernant la sécurité offerte, la protection des données personnelles et confidentielles, etc. De surcroît, les utilisateurs du Cloud public n'ont pas un contrôle total sur leurs l'infrastructure, les données, etc.

### ✓ **Le Cloud privé**

L'infrastructure d'un Cloud privé n'est utilisée que par un client unique. Elle peut être gérée par ce client ou par un prestataire de service et peut être située dans les locaux de l'entreprise cliente ou bien chez le prestataire, le cas échéant. L'utilisation d'un Cloud privé permet de garantir, par exemple, que les ressources matérielles allouées ne seront jamais partagées par deux clients différents.

### ✓ **Cloud Hybride**

Dans un Cloud Hybride, les ressources peuvent être allouées à partir d'un Cloud Privé et d'un Cloud Public. C'est un environnement qui combine les deux modèles Public et Privé. Comme utilisation de ce type de

Cloud Hybride, il est possible de stocker et gérer les données confidentielles dans l'environnement privé et celles qui sont moins confidentielles dans un Cloud Public. Une autre utilisation est d'avoir recours aux ressources Cloud publiques d'une façon ponctuelle, lors des pics d'activité.

### ✓ Cloud communautaire

Contrairement au Cloud public, dont les services sont accessibles à un large public, et au Cloud privé, qui est géré par une seule et unique organisation, le Cloud communautaire est partagé entre plusieurs organisations qui ont des intérêts communs. Les ressources sont fournies par ce groupe d'organisations ou par un tiers.

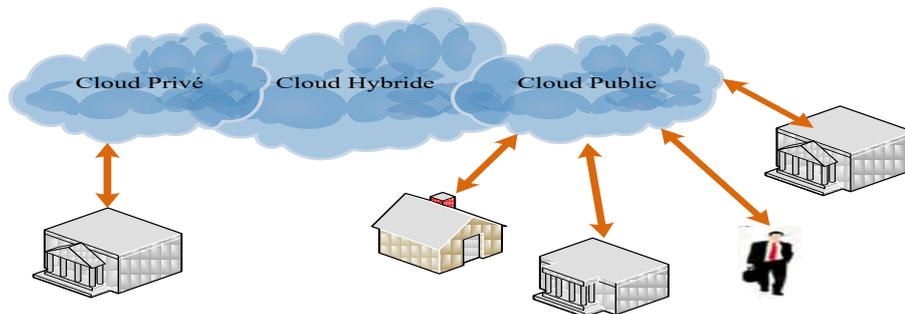


Figure 5 Modèles de déploiement de services Cloud [5]

## II.1.2°) Mobiles Cloud Computing (MCC)

### ➤ Définitions du MCC

Les appareils mobiles (par exemple, Smartphone et tablette PC) sont de plus en plus une partie essentielle de la vie humaine comme les plus efficaces et les outils de communications pratiques non limités par le temps et le lieu. Les utilisateurs mobiles accumulent une riche expérience de divers services d'applications mobiles (par exemple, des applications phone et des applications Google), qui fonctionnent sur les appareils et / ou sur des serveurs distants via les réseaux sans fil. Cependant, les appareils mobiles sont confrontés à de nombreux défis dans leurs ressources (par exemple, la vie de la batterie, le stockage et la bande passante) et les communications (par exemple, mobilité et sécurité) [6], ce qui entraîne l'avènement du Mobile Cloud computing(MCC) .Ainsi le terme « Cloud computing mobile » a été introduit peu de temps après le concept de « Cloud computing ». Il a attiré l'attention des entrepreneurs comme une option d'affaires de table de profit qui réduit les coûts de développement et le fonctionnement des applications mobiles, des utilisateurs mobiles comme nouvelles technologies pour atteindre une riche expérience d'une variété de services mobiles à faible coût, et des chercheurs comme une solution prometteuse pour le vert IT [7].Il peut être vu de manière générale comme : la capacité d'exécuter des applications mobiles en utilisant des fournisseurs de ressources autres que le dispositif mobile lui-même. En d'autre terme le MCC est considéré comme « Informatique en nuage mobile à sa plus simple, fait référence à une infrastructure où à la fois le stockage et le traitement de données se produisent à l'extérieur de l'appareil mobile.

### ➤ Architecture de Mobile Cloud Computing(MCC)

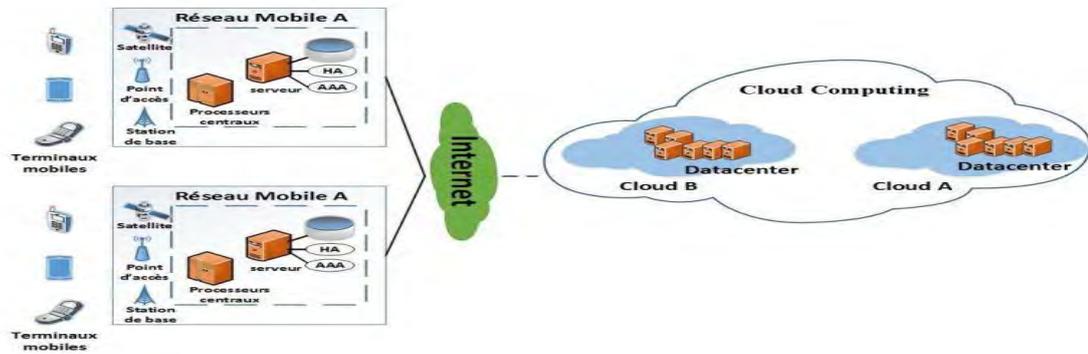


Figure 6 Architecture du MCC (source [8])

## ➤ Applications du MCC

Le MCC est appliqué dans de nombreux domaines parmi les quels nous avons :

### ✓ Le commerce Mobile

Le commerce mobile (m-commerce) est un modèle d'affaires pour le commerce qui utilise des dispositifs mobiles. Les applications de m-commerce en général remplissent certaines tâches de la mobilité (par exemple, les transactions mobiles et les paiements, la messagerie mobile). Les applications de m-commerce peuvent être classées en quelques catégories, notamment les finances, la publicité et le shopping. Cependant les applications de m-commerce doivent faire face à divers défis (par exemple, la bande passante d'un réseau basse, la complexité de la configuration des périphériques mobiles, et la sécurité). [9].

### ✓ L'apprentissage mobile

L'apprentissage mobile (m-Learning) est basé sur l'apprentissage électronique (eLearning) et la mobilité. Les m-Learning applications sont proposées pour résoudre les limitations de capacité de stockage et de traitement [9]. Par exemple, en utilisant un nuage avec une grande capacité de stockage et une capacité de traitement puissante, les applications fournissent des services beaucoup plus riches des données (des informations), d'une vitesse de traitement plus rapide, et d'une vie de batterie plus longue [10].

### ✓ Soins de santé mobile

Le but du MCC dans les applications médicales est de minimiser les limites du traitement médical traditionnel. Soins de santé mobile (m-santé) permet aux utilisateurs mobiles d'accéder à des ressources (par exemple, les dossiers de santé des patients) facilement et rapidement. Par ailleurs, m-santé offre aux hôpitaux et organismes de santé une variété des services à la demande sur les nuages [28].

### ✓ Jeu Mobile

Jeu Mobile (m-jeu) est un marché potentiel pour les fournisseurs des services. Les moteurs de jeu complètement déchargé nécessitant des ressources informatiques importantes pour le serveur dans le nuage, et les joueurs peuvent uniquement interagir avec l'interface de l'écran sur leurs appareils [29].

## ➤ Avantages du MCC

Le Mobile Cloud Computing présente plusieurs avantages, parmi lesquels nous citons :

✓ **L'extension de durée de vie de la batterie.**

La batterie est l'une des principales préoccupations pour les appareils mobiles. Plusieurs solutions ont été proposées pour améliorer les performances du processeur et de gérer le disque et l'écran d'une manière intelligente pour réduire la consommation d'énergie. Cependant, ces solutions nécessitent des changements dans la structure des appareils mobiles, ou ils ont besoin d'un nouveau matériel qui se traduit par une augmentation du coût et peut ne pas être possible pour tous les appareils mobiles. Cependant, Le MCC, grâce au déchargement de calcul, est l'une des solutions les plus efficaces envisagée actuellement pour résoudre ce problème. Les appareils mobiles pourront décharger le calcul des lourdes tâches au MCC ce qui permettra de dépenser moins d'énergie et d'augmenter en conséquence la durée de vie de leurs batteries.

✓ **Amélioration des performances des appareils mobiles**

De nombreuses applications mobiles proposées aujourd'hui sont très gourmandes en termes de calcul ce qui rend problématique leur exécution dans un appareil mobile. En effet, les dispositifs mobiles sont limités en ressources en termes d'énergie, de calcul, de traitement et d'espace de stockage. Grâce au MCC, les périphériques mobiles seront capables d'exécuter des calculs complexes et de traiter de plus grandes quantités de données dans des délais plus courts. De plus, le MCC peut également donner accès aux périphériques mobiles à un espace de stockage quasi illimité. Cela permettra d'économiser l'espace mémoire local limité de l'appareil mobile. Grâce à une connexion rapide au Cloud computing, les utilisateurs mobiles peuvent accéder instantanément à leurs fichiers, photos, documents et vidéos.

✓ **Évolutivité**

Le MCC fournit aux utilisateurs mobiles un outil puissant pour effectuer le traitement des applications. Ainsi, les appareils mobiles n'ont plus à allouer des ressources ni à planifier les tâches si elles sont déchargées dans le Cloud. Cela donne aux appareils mobiles la possibilité d'un approvisionnement dynamique et à la demande de ressources. Les appareils mobiles peuvent donc exécuter leurs applications sans réserve préalable de ressources en raison de l'évolutivité et de la haute disponibilité des ressources Cloud.

➤ **Limites du MCC**

Les inconvénients du Mobile Cloud Computing sont :

- ✓ La qualité de la connectivité.
- ✓ soucis de sécurité.
- ✓ il faut un bon nombre de puissance d'énergie.
- ✓ La largeur de bande fonctionnant est très moins.

➤ **Les avantages et les limites du Cloud Computing**

• **Les avantages**

Le Cloud computing présente de nombreux avantages parmi lesquels on peut citer :

- ✓ Réduction des coûts d'infrastructure ;
- ✓ Réduction des coûts de développement ;
- ✓ Réduction des coûts des logiciels ;
- ✓ Des ressources et services plus rapide à allouer et plus simple à utiliser ;
- ✓ Accès aux ressources plus flexible ;
- ✓ Meilleure utilisation, plus efficace, des ressources ;
- ✓ Augmentation de la puissance de calcul ;
- ✓ Grande capacité de stockage (quasi illimitée) ;
- ✓ Moins de problèmes d'entretien ;
- ✓ Gestion des mises à jour plus simple et rapide ;
- ✓ Pas de perte de données ;
- ✓ Tout est considéré comme un service défini par un SLA ;
- ✓ Infrastructure allouée et disponible juste à temps ;

- **les limites**

Le Cloud Computing n'a pas que des avantages, il possède quelques limites qui sont :

- ✓ Données Lock-in ;
- ✓ Confidentialité des données ;
- ✓ Chiffrement des données ;
- ✓ Nécessité d'un accès réseau constant ;
- ✓ Mauvais fonctionnement avec les connexions à basse vitesse ;
- ✓ Faible niveau de la qualité de service dans le réseau ;
- ✓ Risque d'engorgements lors des transferts de données ;
- ✓ Problème d'interopérabilité ;
- ✓ Problème de portabilité ;
- ✓ Faible contrôlabilité ;
- ✓ Manque de fonctionnalités d'audit ;
- ✓ Des contrats de service SLAs non normalisés.

## II.2°) Présentation des systèmes Edge computing

### II.2.1°) Edge computing

L'edge computing se définit comme une architecture informatique destinée aux environnements IoT, dans laquelle les ressources informatiques, la capacité de stockage et la puissance de calcul sont maintenues au plus près des équipements terminaux et des capteurs qui génèrent les données. Le concept représente ainsi une alternative aux solutions de Cloud ordinaires avec des serveurs centralisés.

Le mot « edge » vient de l'anglais et signifie bord ou périphérie. Ce terme fait allusion au fait que le traitement des données ne se fait plus dans le Cloud, mais il est décentralisé, en périphérie du réseau. L'edge computing peut ainsi offrir une option que le Cloud n'est pas capable de proposer, à savoir des serveurs capables d'interpréter sans délai les données de masse générées par des usines, des réseaux de distributions ou des systèmes de circulation « intelligents », et de prendre immédiatement les mesures nécessaires en cas d'incidents.

## ➤ Architecture d'un système Edge computing

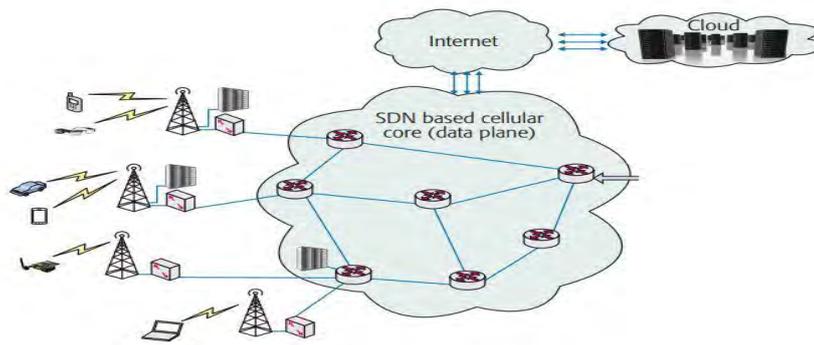


Figure 7 Architecture d'un système Edge computing [12]

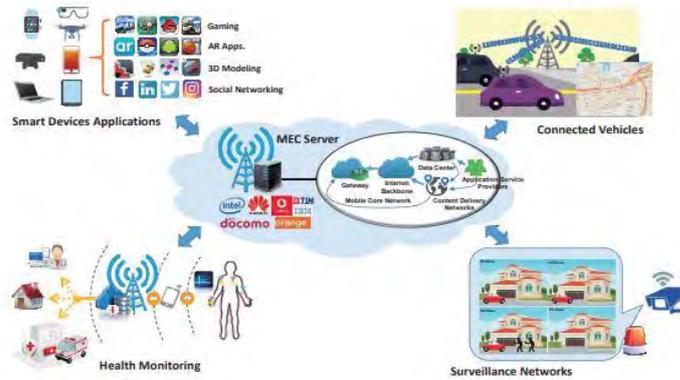
### II.2.2°) Mobiles edges computing (MEC)

#### ➤ Définitions du MEC

Informatique Mobile Edge (MEC) est une nouvelle technologie qui est actuellement en cours de normalisation. Il offre un environnement de services informatiques et les capacités de Cloud computing au bord du réseau mobile, au sein du réseau d'accès radio (RAN) et à proximité des abonnés mobiles. L'objectif est de réduire la latence, assurer le bon fonctionnement du réseau très efficace et la prestation de services, et d'offrir une expérience utilisateur améliorée.

Mobile Edge Computing est un développement naturel dans l'évolution des stations de base mobiles et la convergence de l'informatique et les réseaux de télécommunications. Basé sur une plate-forme virtualisée, MEC est reconnu par l'organisme de recherche européen des PPP 5G (5G infrastructure de partenariat public-privé) comme l'une des principales technologies émergentes pour les réseaux 5G (ainsi que des fonctions réseau de virtualisation (NFV) et des logiciels définis par réseau (NRS)) [13]. Le déplacement des capacités du Cloud vers l'edge RAN est connu sous le nom du Mobile Edge Cloud (MEC). En rapprochant le Cloud du bord du réseau, l'utilisation du cœur du réseau est atténuée et la latence est réduite pour les utilisateurs finaux mobiles. Les stations de base traditionnelles, qui sont les dispositifs déployés au bord du réseau mobile, ne font que transiter le trafic sans l'analyser. Elles ne fournissent pas de ressources pour l'hébergement des services edge au-delà de la connectivité réseau. MEC peut être considéré comme un serveur Cloud fonctionnant au bord d'un réseau mobile et exécutant des tâches spécifiques qui ne pourraient être réalisées avec l'infrastructure réseau traditionnelle [14]. Cela nécessite le déploiement de processeurs et de la mémoire sur les stations de base. La mise en commun des services Cloud et du réseau mobile cellulaire assure une meilleure couverture grâce au large déploiement des réseaux d'opérateurs. Cela garantit en outre que la grande majorité des clients d'un opérateur mobile soit desservie.

#### ➤ Architecture de MEC



*Figure 8 Architecture du Mobile Edge Computing*

### ➤ Avantages du MEC

#### ✓ Réduction de la latence et de la congestion

Les serveurs MEC sont déployés dans les stations de base à proximité des dispositifs mobiles. Les utilisateurs ont alors un accès direct aux services ce qui réduit la latence de bout en bout. D'autre part, grâce aux serveurs MEC, le trafic peut être traité et stocké dans l'edge. Le volume du trafic acheminé par le cœur du réseau est considérablement réduit ce qui minimise la congestion dans le réseau.

#### ✓ Accessibilité aux connaissances du réseau

En tant qu'élément du réseau mobile, MEC a accès aux connaissances du réseau d'opérateurs en temps réel. Cela permettra la mise en œuvre d'un ensemble plus varié de services et d'applications qui dépendent de l'emplacement ou du contexte.

#### ✓ Meilleure gestion des ressources

Le MEC fournit un environnement informatique hautement distribué qui peut être utilisé pour déployer des applications et des services, ainsi que pour stocker et traiter du contenu à proximité immédiate des utilisateurs mobiles. Il crée alors un écosystème où de nouveaux services sont développés dans et autour de la station de base. Le serveur MEC fournit des ressources de calcul, de la capacité de stockage, de la connectivité et de l'accès au trafic des utilisateurs et aux informations radio et réseau [16].

### ➤ Domaines d'applications

Les domaines d'application pour l'edge computing viennent généralement de l'environnement IoT, et représentent des projets d'avenir au même titre que le concept d'une architecture Cloud décentralisée. Un facteur de croissance important de la technologie de l'edge computing est le besoin croissant de systèmes de communication fonctionnant en temps réel. Le traitement décentralisé des données est une technologie clé pour les projets suivants :

- ✓ La communication de véhicule à véhicule
- ✓ Le réseau électrique intelligent
- ✓ Le Smart Factory

**Un véhicule connecté** sera, à l'avenir, bien plus qu'un véhicule équipé d'une connexion Internet. L'avenir de la mobilité permettra la mise en place de systèmes d'avertissement gérés par le Cloud, permettant une communication de véhicule à véhicule, voire des moyens de transport complètement autonomes dans leurs déplacements. La condition est cependant que l'on puisse disposer d'une infrastructure permettant d'échanger en temps réel des données entre les véhicules et les différents points de communication tout au long de l'itinéraire.

**Le réseau électrique** de l'avenir sera lui aussi adaptatif, capable de s'autoréguler automatiquement en fonction des besoins grâce à des systèmes de gestion d'énergie décentralisés. Dans le cadre de la transition énergétique, le réseau électrique intelligent représentera une technologie clé. En effet, la conversion vers des énergies renouvelables impose de nouveaux défis aux réseaux d'électricité. Au lieu d'avoir quelques gros producteurs centralisés, on aura de nombreux petits producteurs d'énergie décentralisés, avec des dispositifs de stockage qui devront être connectés avec les consommateurs. Certains d'entre eux seront eux-mêmes producteurs d'énergie, notamment grâce aux panneaux solaires. Les réseaux intelligents ne se contentent plus de transporter le courant électrique : ils délivrent également des données applicables à sa production, son stockage et sa consommation. Ceci permet à chacun de réagir en temps réel à la moindre modification. L'objectif est de maintenir la stabilité des réseaux électriques malgré leur complexité croissante, et d'assurer une meilleure efficacité grâce à une compensation intelligente des charges. Pour pouvoir saisir, sauvegarder et traiter dans les meilleurs délais toutes ces données générées, nous avons besoin de nouveaux concepts de Cloud, comme l'edge computing et le fog computing.

On entend par **Smart Factory** (usine du futur) des sites de production et des systèmes de logistique qui s'organisent eux-mêmes. Dans l'idéal, on n'a aucune intervention humaine dans de tels concepts. Une usine intelligente est un système interconnecté d'appareils, de machines et de capteurs qui communiquent entre eux par Internet pour mener à terme des processus de fabrication. Le système de communication Smart Factory inclut le produit fini dans son système et peut donc réagir automatiquement face à des demandes de devis. Grâce à des systèmes d'intelligence artificielle et à un apprentissage autonome, on a des processus de maintenance qui optimisent la production. Ceci demande une infrastructure informatique capable de traiter sans délai de gros volumes de données, et de réagir rapidement à des imprévus. Les systèmes de Cloud traditionnels échouent pour des raisons de latence. Les architectures d'edge computing et de fog computing peuvent résoudre ce problème grâce à un traitement des données partagé.

### ➤ **Les avantages et les limites de l'Edge computing**

#### - **Les avantages**

##### ✓ **Traitement des données en temps réel :**

Dans les architectures d'edge computing, les unités de calcul sont rapprochées au mieux des sources de données, favorisant une communication en temps réel. On évite ainsi le problème récurrent de latence rencontré avec les solutions de Cloud plus classiques.

##### ✓ **Débit utile réduit**

L'edge computing privilégie un traitement des données en local au niveau de passerelles Edge. Seules les données qui ne peuvent pas être traitées localement, ou qui doivent être mises en lignes, sont téléchargées dans le Cloud.

##### ✓ **La sécurité des données :**

Avec une solution d'Edge computing, la majeure partie des données reste dans le réseau local. Dans une telle configuration, les entreprises auront plus de facilité à se conformer aux exigences de conformité.

### - Les limites

#### ✓ Des structures de réseau plus complexes :

Un système de répartition est bien plus compliqué qu'une architecture Cloud centralisée. Un environnement edge computing est un ensemble hétérogène de plusieurs composants de réseau, venant en partie de divers fabricants, et qui communiquent les uns avec les autres grâce à un grand nombre d'interfaces.

#### ✓ Les frais d'acquisition pour du matériel Edge :

Les architectures de Cloud se distinguent avant tout par le fait qu'il y a beaucoup moins d'équipement matériel à installer localement. On perd cet avantage si on opte pour des systèmes à répartition.

#### ✓ Un niveau de maintenance plus élevé :

Un système décentralisé, composé de plusieurs nœuds de calcul, nécessite plus d'entretien et d'administration qu'un centre de données.