

Le Cloud Computing

ZAHIRI Oumaima

Villiers-sur-Marne, le 18 février 2021

REMERCIEMENTS

Je tiens à remercier toutes les personnes qui ont contribué au succès de mon stage et qui ont apporté leur aide lors de la rédaction de ce rapport.

Je voudrais dans un premier temps remercier, toute l'équipe pédagogique de Télécom Saint-Étienne et les intervenants professionnels responsables de ma formation, pour avoir assuré la partie théorique de celle-ci.

Je tiens à témoigner toute ma reconnaissance à M. HANBALI pour l'expérience enrichissante et pleine d'intérêt qu'il m'a fait vivre durant ce stage au sein de son entreprise, CMMS Consulting. A travers son rôle de tuteur, il a partagé avec moi ses connaissances et expériences dans le milieu professionnel (et ses expériences qui tournent autour du Cloud notamment) tout en m'accordant sa confiance et une large indépendance dans l'exécution de ma mission. M. HANBALI m'a aussi appris une grande leçon : ne pas avoir peur de ne pas connaître. Je lui suis très reconnaissante pour ce qu'il m'a transmis et qui me servira beaucoup à l'avenir. Il a également été d'un grand soutien dans l'élaboration de ce rapport de stage.

Enfin, un grand merci à ma famille pour leur soutien inconditionnel.

Table des matières

<u>1Introduction</u>	5
<u>2Virtualisation</u>	6
<u>2.1Virtualisation : Définition</u>	6
<u>2.2Histoire</u>	7
<u>2.3Hyperviseurs</u>	8
<u>2.3.1Hyperviseur de type 1</u>	8
<u>2.3.2Hyperviseur de type 2</u>	8
<u>2.4Types de virtualisation</u>	9
<u>2.4.1Virtualisation Complète</u>	9
<u>2.4.2Para-Virtualisation</u>	10
<u>3Cloud Computing</u>	11
<u>3.1Cloud Computing : Définition</u>	11
<u>3.2Virtualisation VS Cloud Computing</u>	12
<u>3.3Caractéristiques, niveaux de service et modèles de déploiement</u>	13
<u>3.4Avantages du Cloud Computing</u>	16
<u>3.5Inconvénients et critiques contre le Cloud Computing</u>	17
<u>3.6Le multi-Cloud</u>	18
<u>4Conteneurs VS Machines Virtuelles</u>	19
<u>4.1Conteneurisation</u>	19
<u>4.1.1Définition</u>	19
<u>4.1.2Intérêt</u>	19
<u>4.1.3Limitations</u>	19
<u>4.2Machines virtuelles</u>	20
<u>4.3Comparaison</u>	21
<u>5Amazon Web Services, Microsoft Azure, Google Cloud Platform</u>	22
<u>5.1Introduction</u>	22
<u>5.1.1AWS</u>	22
<u>5.1.2Microsoft Azure</u>	23

5.1.3GCP	24
5.2Zones de disponibilité	25
5.3Parts dans le marché	26
5.4Services proposés	27
5.4.1Serveurs applicatifs	27
5.4.2Serveurs de stockage	27
5.4.3API Managers	28
5.4.4Troubleshooting	33
5.4.5Bases de données relationnelles	34
5.4.6Surveillance	34
5.5Coûts	34
5.6Bilan	35
5.6.1Atouts	35
5.6.2Inconvénients	36
5.6.3Lequel choisir ?	37
6Bibliographie	39

Table de figures

Figure 1: Architecture virtualisée	7
Figure 2: Fonctionnement des serveurs	7
Figure 3: Types d'hyperviseur	9
Figure 4: Processus de virtualisation complète	10
Figure 5: Para-virtualisation	10
Figure 6: Cloud Computing	15
Figure 7: Services du Cloud	18
Figure 8: Modèles de déploiement	19
Figure 9: Régions d'AWS	24
Figure 10: Régions d'Azure	25
Figure 11: Régions de GCP	25
Figure 12: Répartition du marché de février 2020	26
Figure 13: Répartition du marché de février 2021	26
Figure 14: Fonctionnement de l'API	29
Figure 15: Cycle Vie d'une API	29
Figure 16: Mode de fonctionnement d'API Gateway	30
Figure 17: Coûts de l'API Gateway d'AWS	31
Figure 18: Coûts de Gestion des API Azure	32
Figure 19: Coûts de l'API Gateway de Google	33
Figure 20: Tarification	35

1 Introduction

1.1 Contexte

Étudiante en première année en Formation d'Ingénieur – Statut Étudiant à Télécom Saint-Étienne, j'étais emmenée à effectuer un stage d'un mois. Pour cela, j'ai été honorée d'intégrer CMMS Consulting comme stagiaire. Le sujet qui m'a été proposée est une étude comparative et réfléchie des solutions Cloud dans le marché et du sujet dans lequel j'ai été plongée pendant 1 mois : le Cloud Computing.

Pour gérer leur infrastructure informatique, les entreprises ont besoin de locaux pour installer leurs centres de données, d'énormes et nombreux serveurs, de bon réseau, d'une bonne bande passante, d'énormes espaces de stockage et d'une équipe d'experts pour installer leurs logiciels, les configurer et les faire tourner sans compter la complexité des procédures pour installer de Nouvelles Versions, ce qui est d'une part énormément coûteux en termes d'argent, d'effectif, d'énergie et de temps, d'autre part, les entreprises se trouvent aussi investies (ou même plus) dans un domaine qui n'est probablement pas leur cœur de métier.

Le Cloud Computing vient donc pour répondre à ces problématiques ; les fournisseurs Cloud hébergent les infrastructures informatiques en fonction des besoins de l'entreprise ce qui libère d'une grande partie de ses coûts (coûts de main d'œuvre, de produit et d'installation). De plus, les fonctionnalités du Cloud, à savoir l'évolutivité (scalability), le partage de ressources et la virtualisation font en sorte que toute application soit multi-tenante et que le service présenté soit mesurable, les entreprises payent ainsi uniquement ce qu'elles consomment. Il s'agit donc d'une solution plus évolutive, plus sûre, plus fiable et à moindre coût.

Le **Cloud computing** est donc un concept de déportation sur des serveurs distants des traitements informatiques traditionnellement localisés sur les serveurs de l'entreprise. Les noms officiels en français sont : **informatique dans le nuage**, **informatique en nuage**, **informatique dématérialisée**, ou encore **infonuagique**.

Ce concept est vu comme une évolution majeure par certains analystes, ou comme un piège par d'autres comme notamment Richard Stallman.

Les utilisateurs ou les entreprises ne sont plus gérants de leurs serveurs informatiques mais peuvent ainsi accéder de manière évolutive à de nombreux services en ligne sans avoir à gérer l'infrastructure sous-jacente, souvent complexe. Les applications et les données ne se trouvent plus sur les serveurs applicatifs et de bases de données de l'entreprise, mais – métaphoriquement parlant – dans un nuage (« *cloud* ») composé d'un certain nombre de serveurs distants interconnectés au moyen d'une excellente bande passante indispensable à la fluidité du système. L'accès au service se fait par une application standard facilement disponible, la plupart du temps un navigateur Web.

Le Cloud Computing est donc le futur de la numérisation, pourtant la multitude des fournisseurs et des offres tentantes de chacun rendent le choix des entreprises difficile : lequel choisir ?

1.2 Périmètre de l'étude :

Dans la présente étude, il a été décidé de limiter le périmètre aux trois géants du Cloud Computing qui sont :

- Amazon Web Services (AWS) ;
- Microsoft Azure ;
- Google Cloud Platform (GCP).

1.3 Démarche

Nous allons d'abord définir les différentes notions qui tournent autour du Cloud Computing afin de lever le voile sur les amalgames qu'il peut y avoir (entre le Cloud Computing et la virtualisation, les conteneurs et les machines virtuelles...).

Ensuite, nous allons étudier de près les différences entre les trois protagonistes (leurs dates de création, leurs zones de disponibilités, leurs parts dans le marché, leurs services et coûts...).

Puis, nous allons exposer les avantages et inconvénients de chacune des plateformes étudiées.

Enfin, nous terminerons par une recommandation sur le meilleur choix pour les entreprises.

2 Virtualisation

2.1 Définition

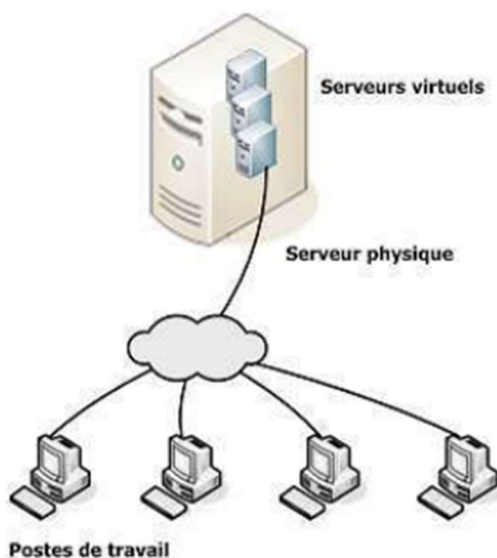


Figure 1: Architecture virtualisée

La virtualisation de serveurs¹ est un ensemble de techniques et d'outils permettant de faire tourner plusieurs systèmes d'exploitation sur un même serveur physique. Le principe de la virtualisation est donc un principe de partage : les différents systèmes d'exploitation se partagent les ressources du serveur. Pour être utile de manière opérationnelle, la virtualisation doit respecter deux principes fondamentaux :

- Le cloisonnement : chaque système d'exploitation a un fonctionnement indépendant, et ne peut interférer avec les autres en aucune manière.
- La transparence : le fait de fonctionner en mode virtualisé ne change rien au fonctionnement du système d'exploitation et a fortiori des applications.

La transparence implique la compatibilité : toutes les applications peuvent tourner sur un système virtualisé, et leur fonctionnement n'est en rien modifié.

Concrètement, imaginons qu'on ait trois serveurs physiques qui répondent chacun à des objectifs précis : l'un d'eux est un serveur de messagerie, l'autre un serveur web et le dernier exécute les applications internes existantes. Seulement 30 % de leur capacité est utilisée, ce qui n'est qu'une fraction de leur potentiel. Cependant, comme les applications existantes sont essentielles à vos opérations internes, on pense sans doute qu'on doit les conserver, ainsi que le troisième serveur qui les héberge.

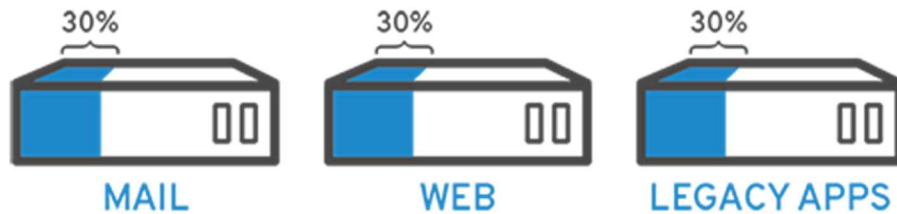


Figure 2: Fonctionnement des serveurs

C'était le cas auparavant. Il était souvent plus simple et plus fiable d'exécuter des tâches individuelles sur des serveurs spécifiques : un serveur avec un système d'exploitation pour une tâche. Il n'était pas facile de faire autrement. Désormais, avec la virtualisation, on peut fractionner le serveur de messagerie en deux serveurs uniques capables de gérer des tâches distinctes, ce qui permet ainsi la migration des applications existantes. On utilise le même matériel, mais on exploite davantage son potentiel.

Il existe plusieurs types de ressources virtualisée : virtualisation des données, virtualisation des postes de travail, virtualisation de serveurs, virtualisation des systèmes d'exploitation et virtualisation des fonctions réseau. Pour notre étude, nous allons-nous concentrer surtout sur la virtualisation des serveurs.

En résumé, la virtualisation consiste à créer, à partir d'un seul serveur matériel, plusieurs serveurs virtuels (avec leurs propres systèmes d'exploitation, RAM, et toutes leurs caractéristiques techniques). Elle permet d'exploiter toute la capacité d'une machine physique en la répartissant entre de nombreux utilisateurs ou environnements différents (machines virtuelles).

2.2 Histoire

Bien que le concept de virtualisation soit apparu dans les années 1960, ce n'est que dans les années 2000 que son utilisation s'est généralisée. Les technologies qui sont à la base de la virtualisation, telles que les hyperviseurs, ont été développées il y a plusieurs dizaines d'années afin de permettre à divers utilisateurs d'accéder simultanément aux ordinateurs qui effectuaient des traitements par lots. Le traitement par lots, qui permettait d'exécuter très rapidement des tâches répétitives des milliers de fois (telles que la paie), était une technique très répandue dans le monde de l'entreprise.

Toutefois, au fil des décennies, d'autres solutions qui permettaient l'utilisation simultanée d'une seule et même machine par de nombreux utilisateurs ont gagné en popularité, tandis que la virtualisation restait en marge. L'une de ces solutions était la technique du temps partagé, qui isolait les utilisateurs au sein des systèmes d'exploitation. Elle a notamment conduit à la création d'autres systèmes d'exploitation comme UNIX, puis Linux. Pendant ce temps, la virtualisation restait une technologie de niche très peu utilisée.

Faisons un saut dans le temps jusqu'aux années 1990. La plupart des entreprises disposaient de serveurs physiques et de piles informatiques propriétaires. Autrement dit, les applications existantes ne pouvaient pas être exécutées sur le matériel d'un autre fournisseur. Lorsque les entreprises actualisaient leur environnement informatique avec des serveurs, des systèmes

d'exploitation et des applications standard plus économiques, elles n'avaient d'autre choix que de sous-utiliser leur infrastructure physique, sachant que chaque serveur ne pouvait exécuter qu'une tâche spécifique au fournisseur.

C'est là que la virtualisation a pris son envol. Elle constituait la solution naturelle à deux problèmes en permettant aux entreprises de partitionner leurs serveurs et d'exécuter les applications existantes sur plusieurs types et versions de systèmes d'exploitation. Les serveurs ont ainsi commencé à être utilisés plus efficacement (lorsqu'ils n'étaient pas simplement abandonnés), ce qui a entraîné la réduction des coûts liés à l'achat, à la configuration, au refroidissement et à la maintenance.

La flexibilité de la virtualisation a permis de limiter la dépendance vis-à-vis d'un fournisseur et a jeté les bases du Cloud Computing. Aujourd'hui, elle est si répandue dans les entreprises qu'un logiciel de gestion de la virtualisation est souvent nécessaire pour en assurer le suivi.

2.3 Hyperviseurs

Un hyperviseur est une plate-forme de virtualisation qui permet à plusieurs systèmes d'exploitation de travailler sur une même machine physique en même temps.

2.3.1 Hyperviseur de type 1

Un hyperviseur de Type 1, ou natif, voire "bare metal" (littéralement "métal nu"), est un logiciel qui s'exécute directement sur une plateforme matérielle ; cette plateforme est alors considérée comme outil de contrôle de système d'exploitation. Un système d'exploitation secondaire peut, de ce fait, être exécuté au-dessus du matériel. L'hyperviseur type 1 est un noyau hôte allégé et optimisé pour ne faire tourner initialement que des noyaux de systèmes d'exploitation invités adaptés et optimisés à cette architecture spécifique, ces systèmes invités ayant "conscience" d'être virtualisés. Sur des processeurs ayant les instructions de virtualisation matérielle (AMD-V et Intel VT), le système d'exploitation invité n'a plus besoin d'être modifié pour pouvoir être exécuté dans un hyperviseur de type 1. Quelques exemples de tels hyperviseurs plus récents sont Xen, Oracle VM, ESX Server de VMware.

2.3.2 Hyperviseur de type 2

Un hyperviseur de Type 2 est un logiciel qui s'exécute à l'intérieur d'un autre système d'exploitation. Un système d'exploitation invité s'exécutera donc en troisième niveau au-dessus du matériel. Les systèmes d'exploitation invités n'ayant pas conscience d'être virtualisés, ils n'ont pas besoin d'être adaptés. Quelques exemples de tels hyperviseurs sont VMware Workstation, VMware Fusion, l'hyperviseur open source QEMU, les produits Microsoft Virtual PC et Virtual Server, VirtualBox d'Oracle, de même que Parallels Workstation de SWsoft et Parallels Desktop.

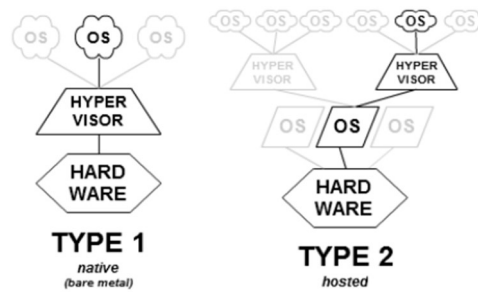


Figure 3: Types d'hyperviseur

2.4 Types de virtualisation

2.4.1 Virtualisation complète

La virtualisation dite complète permet de faire fonctionner n'importe quel système d'exploitation en tant qu'invité dans une machine virtuelle. Pour l'utilisateur final, ce type de virtualisation est la plus simple à mettre en place et est la plus pratique.

Principe : L'hyperviseur crée un environnement virtuel complet simulant littéralement un nouvel ordinateur complet, avec du "faux matériel". À quelques rares exceptions, le système d'exploitation invité (installé dans la machine virtuelle) ne communique qu'avec ce faux matériel simulé, rendant étanche l'environnement virtualisé.

Limitations : Ce type de virtualisation ne permet de virtualiser que des systèmes d'exploitation prévus pour la même architecture matérielle que le processeur physique de l'ordinateur hôte. Par exemple, un ordinateur équipé d'un processeur Intel x86 sera incapable de virtualiser un système d'exploitation prévu pour fonctionner dans une architecture PowerPC.

Quelques hyperviseurs de virtualisation complète :

- VirtualBox ;
- VMWare Player, VMWare Workstation ;
- Parallels Desktop for Windows et Linux ;
- KVM.

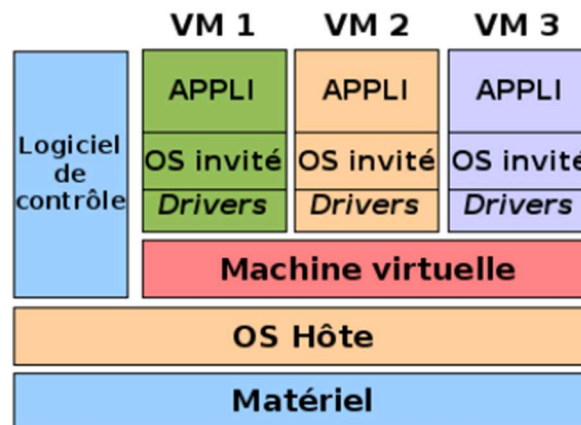


Figure 4: Processus de virtualisation complète

2.4.2 Paravirtualisation

La paravirtualisation fait intervenir un hyperviseur. Il s'agit d'un noyau allégé au-dessus duquel viendront se greffer les systèmes invités. Contrairement à un système traditionnel de machines virtuelles où la virtualisation est transparente, avec la paravirtualisation, le système invité doit avoir conscience qu'il tourne dans un environnement virtuel ce qui implique d'employer un noyau modifié. Ce type de virtualisation permet des performances bien plus importantes que la virtualisation totale (assistée par matériel, que nous avons vu plus haut).

Quelques hyperviseurs de virtualisation assisté :

- XEN ;
- VMWare ESX/ESXi ;
- Hyper-V (Microsoft) ;
- xVM.

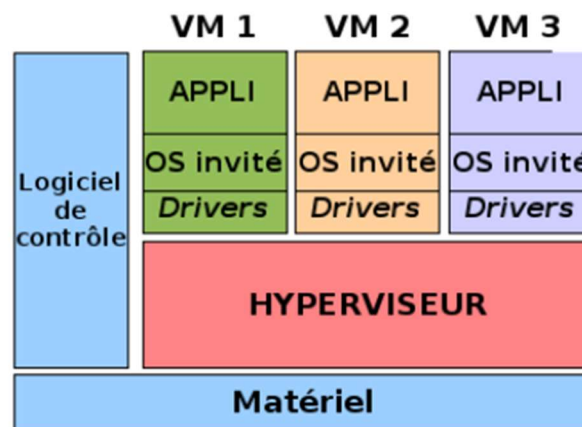


Figure 5: Paravirtualisation

2.5 Conteneurs VS Machines Virtuelles

2.5.1 Conteneurisation

2.5.1.1 Définition

Tout comme dans le domaine des transports, les conteneurs informatiques stockent des objets pour les transporter. Ils permettent d'expédier des applications et leurs dépendances sur de multiples systèmes d'exploitation, quels qu'ils soient. Ils garantissent que leur contenu soit identique au départ et à l'arrivée, et qu'il soit sécurisé, grâce à leur mise en isolation.

La conteneurisation est une méthode qui permet de virtualiser, dans un conteneur, les ressources matérielles – systèmes de fichiers, réseau, processeur, mémoire vive, etc. – nécessaires à l'exécution d'une application. Dans cet espace sont aussi stockées toutes les dépendances des applications : fichiers, bibliothèques, etc. Pour déplacer les applications virtuelles d'un système d'exploitation à un autre, le conteneur se connecte à leur noyau (*kernel*), ce qui permet aux différents composants matériels et logiciels de communiquer entre eux.

2.5.1.2 Intérêt

Les conteneurs servent à minimiser la complexité liée à la configuration et à l'administration applicatives, à accélérer les cycles de développement et de production applicatifs, et, grâce à

leur flexibilité et à leur portabilité, ils constituent l'une des briques qui permettent de faire de « l'infrastructure as a service », c'est-à-dire d'automatiser les infrastructures IT.

En effet, on propose une manière de virtualiser des ressources de manière légère, avec une isolation garantie par le système d'exploitation. Ces ressources sont ainsi plus facilement portables d'un système à un autre. C'est un puissant accélérateur de développement d'applications.

La conteneurisation représente donc une réelle rupture technologique, car elle s'insère parfaitement dans la chaîne du développement et de livraison en continu des applications (DEVOPS). Elle permet de réduire ce fameux « time to market » qui permet d'accélérer le délai entre la formation d'une idée et sa matérialisation en fonction applicative. La conteneurisation permet d'aller beaucoup plus vite dans la livraison de nouvelles fonctionnalités. Par exemple, Facebook, Instagram, etc. sortent une centaine de nouvelles fonctionnalités par jour, sans que l'on s'en rende compte, grâce à la conteneurisation et à toutes les mécaniques de la chaîne d'intégration et de déploiement en continu.

2.5.1.3 Limitations

En matière de conteneurisation, les outils arrivent petit à petit à maturité. C'est-à-dire que la conteneurisation et le support sur lequel elle s'appuie commencent (à l'intérieur du noyau Linux) à être complètement fiables. On n'observe plus les failles qui permettaient, il y a encore quelques années, de briser les protections et de s'introduire à l'intérieur d'un conteneur pour accéder frauduleusement aux ressources de la machine. Aujourd'hui, ce n'est plus possible parce que le code utilisé est abouti et que les ops (opérationnels/exploitants) sont bien mieux formés pour limiter les possibilités d'intrusion. Par exemple en limitant les droits sur les applications.

Cependant, pour les orchestrateurs de conteneurs, il existe encore des limitations. Par exemple en matière de gestion de grands volumes de données, il reste des progrès à faire pour l'intégration avec les fournisseurs de cloud. Par ailleurs, de nombreuses applications à migrer vers le cloud ne peuvent pas bénéficier des avantages de l'orchestration des conteneurs pour le passage à l'échelle et la portabilité. Il faudrait les réécrire pour les adapter à cette nouvelle approche, mais cela demanderait trop de temps.

2.5.2 Machines virtuelles

Une machine virtuelle est un fichier informatique, généralement appelé image, qui se comporte comme un ordinateur réel. En d'autres termes, il s'agit d'un ordinateur créé à l'intérieur d'un ordinateur. Elle s'exécute dans une fenêtre, comme tout autre programme, en offrant à l'utilisateur final une expérience identique à celle qu'il aurait sur le système d'exploitation hôte. La machine virtuelle est placée dans un « bac à sable » qui l'isole du reste du système, de sorte que les logiciels installés sur la machine virtuelle ne peuvent ni s'échapper, ni modifier l'ordinateur hôte. Cela produit un environnement idéal pour tester d'autres systèmes d'exploitation, dont des versions bêta, l'accès à des données infectées par des virus, la création de sauvegardes de système d'exploitation et l'exécution de logiciels ou d'applications sur des systèmes d'exploitation auxquels ils ne sont pas destinés à l'origine.

Il est possible d'exécuter plusieurs machines virtuelles simultanément sur un même ordinateur physique. Pour les serveurs, les divers systèmes d'exploitation fonctionnent côte à côte, avec un composant logiciel appelé hyperviseur pour les gérer, alors que les ordinateurs de bureau classiques n'utilisent qu'un seul système d'exploitation pour exécuter d'autres systèmes d'exploitation dans des fenêtres de programme qui leur sont propres. Chaque machine virtuelle fournit son

propre matériel virtuel, à savoir les processeurs, la mémoire, les disques durs, les interfaces réseau et les autres périphériques nécessaires. Le matériel virtuel est ensuite mappé au matériel réel sur la machine physique, ce qui permet de réaliser des économies en réduisant les besoins en matériel, ainsi que les coûts de maintenance, d'alimentation et de refroidissement associés.

Nous allons maintenant expliquer le fonctionnement des machines virtuelles :

Des hyperviseurs isolent les ressources physiques des environnements virtuels. Ces hyperviseurs peuvent reposer sur un système d'exploitation (d'un ordinateur portable, par exemple) ou être directement installés sur un système physique (tel qu'un serveur), ce qui est l'option la plus souvent choisie par les entreprises qui ont recours à la virtualisation. Les hyperviseurs répartissent les ressources physiques pour permettre aux environnements virtuels de les utiliser.

Ces ressources sont partitionnées à partir de l'environnement physique et distribuées aux différents environnements virtuels. Les utilisateurs interagissent avec ces environnements (également appelés machines virtuelles ou hôtes) et y exécutent des calculs. La machine virtuelle opère comme un fichier de données unique. Comme n'importe quel fichier numérique, on peut la transférer d'un ordinateur à un autre, l'ouvrir sur l'un ou l'autre et l'utiliser de la même manière.

Lorsque l'environnement virtuel est exécuté et qu'un utilisateur ou un programme émet une instruction nécessitant des ressources supplémentaires à partir de l'environnement physique, l'hyperviseur transmet cette requête au système physique et met en cache les modifications. Le processus est presque aussi rapide que sur un système natif, notamment si la requête est envoyée via un hyperviseur Open Source basé sur KVM (Kernel-based Virtual Machine).

2.5.3 Synthèse

Conteneurs		Machines Virtuelles
Niveau de virtualisation	Système d'exploitation	Matériel
Isolation	Au niveau du processus (les conteneurs sont créés dans le même système d'exploitation, et c'est à ce niveau-là qu'on contrôle leur indépendance)	Au niveau de la création des machines (les systèmes et environnements de travail sont complètement isolés)
Flexibilité/Portabilité	Portabilité infinie (des conteneurs)	Flexibilité infinie du matériel
Configuration	À partir d'une image	À partir d'un modèle
OS	Système d'exploitation du serveur + le noyau Krenel (namespace ² + cgroups ³)	Système d'exploitation hôte + Systèmes d'exploitation invités (de chaque VM)
Matériel de contrôle	Moteur d'exécution	Hyperviseur
Création	Le conteneur est défini sur un fichier texte (manifeste ex docker file) à partir duquel on peut exécuter et faire tourner notre conteneur à partir de n'importe quel serveur => création de l'image => le conteneur (bibliothèques et binaires nécessaires + application)	Pour créer une machine virtuelle, on crée d'abord le système d'exploitation correspondant à partir de l'OS hôte => importation des bibliothèques nécessaires => application (tout est dirigé par l'OS invité désormais)
Temps de création	Quelques millisecondes	Plusieurs minutes

3 Cloud Computing

3.1 Définition

Avec la virtualisation, un logiciel appelé hyperviseur est installé sur le matériel physique. Il dissocie les ressources de la machine qui sont ensuite mises à disposition d'environnements virtuels appelés machines virtuelles. La puissance de traitement des données brutes, le stockage ou les applications cloud qui renferment le code d'exécution et les éléments requis pour déployer le système font partie de ces ressources.

À ce stade, on ne parle pas encore de cloud, mais simplement de virtualisation.

Pour devenir des clouds, les ressources virtuelles doivent être allouées dans des pools centralisés. Avec l'ajout d'une couche logicielle de gestion, les administrateurs peuvent contrôler l'infrastructure, les plateformes, les applications et les données qui seront utilisées dans l'environnement cloud. Et lorsque la couche finale d'automatisation est ajoutée pour remplacer ou limiter les interactions humaines à l'aide d'instructions et de processus reproductibles, on obtient le composant libre-service du cloud.

Pour créer un cloud, il faut mettre en place un système informatique qui répond aux critères suivants :

- D'autres ordinateurs peuvent y accéder par l'intermédiaire d'un réseau.
- Il contient un référentiel de ressources informatiques.
- Il peut être approvisionné et mis à l'échelle rapidement.

Un certain nombre d'atouts, propres aux clouds, permettent de les distinguer clairement de la virtualisation classique : l'accès en libre-service, la mise à l'échelle automatisée de l'infrastructure et les pools de ressources dynamiques.

L'expression « cloud computing » vient de professionnels anglophones de l'informatique qui cherchaient à nommer les nouveaux systèmes informatiques fonctionnant par l'action conjointe d'éléments disparates réunis indépendamment de leur localisation géographique et de l'infrastructure sous-jacente. Ce nom est associé au symbole en forme de nuage (« cloud ») représentant parfois l'Internet dans les schémas des réseaux informatiques.

En France, selon la Commission générale de terminologie et de néologie c'est une forme particulière de gérance de l'informatique, dans laquelle l'emplacement et le fonctionnement dans le nuage ne sont pas portés à la connaissance des clients.

L'image du Cloud est utilisée de façon métaphorique pour désigner internet. Cette comparaison date de l'époque à laquelle on représentait **les infrastructures gigantesques des fermes de serveurs internet sous la forme d'un grand nuage blanc**, acceptant les connexions et distribuant des informations tout en flottant.

Cette technologie permet aux entreprises d'**acheter des ressources informatiques sous la forme de service**, de la même manière que l'on consomme de l'électricité, au lieu d'avoir à construire et entretenir des infrastructures informatiques en interne.

Figure 6: Cloud Computing



Définition de l'Institut National des Normes et de la Technologie (NIST) : Le Cloud Computing est un modèle permettant un accès réseau omniprésent, pratique et à la demande à un pool partagé de ressources informatiques configurables (par exemple, réseaux, serveurs, stockage, applications et services) qui peuvent être rapidement provisionnés et libérés avec un minimum d'effort de gestion ou d'interaction avec le fournisseur de services. Ce modèle cloud est composé de cinq caractéristiques essentielles, de trois modèles de service et de quatre modèles de déploiement (Voir chapitre 3.3).

3.2 Virtualisation VS Cloud Computing

Il est facile de confondre virtualisation et cloud computing, car il s'agit dans les deux cas d'une création d'environnements utiles à partir de ressources abstraites. La virtualisation est une technologie qui permet de créer plusieurs environnements simulés ou ressources spécialisées à partir d'un seul système physique. Les clouds sont des environnements qui dissocient, regroupent et partagent des ressources évolutives sur un réseau. Pour faire simple, la virtualisation est une technologie alors que le cloud est un environnement.

Un cloud s'utilise généralement dans le cadre d'une stratégie de cloud computing, qui consiste à exécuter des charges de travail dans ce système.

Une infrastructure cloud peut intégrer différents logiciels pour systèmes nus, de virtualisation ou de conteneurs qui permettent de dissocier, regrouper et partager des ressources évolutives au sein d'un réseau pour créer un cloud. Le cloud computing repose sur un système d'exploitation stable (tel que Linux). C'est cette couche qui confère aux utilisateurs leur indépendance entre les différents environnements privés, publics et hybrides.

	Virtualisation	Cloud computing
Définition	Technologie	Méthodologie
Objet	Créer plusieurs environnements simulés à partir d'un même système physique	Regrouper et automatiser des ressources virtuelles pour une utilisation à la demande
Utilisation	Fournir des ressources en paquets à des utilisateurs spécifiques pour une tâche spécifique	Fournir des ressources variables à des groupes d'utilisateurs pour diverses tâches
Configuration	À partir d'une image	À partir d'un modèle
Durée de vie	Années (long terme)	Heures ou mois (court terme)
Coût	Dépenses d'investissement élevées, dépenses d'exploitation faibles	Cloud privé : dépenses d'investissement élevées, dépenses d'exploitation faibles Cloud public : dépenses d'investissement faibles, dépenses d'exploitation élevées
Évolutivité	Évolutivité verticale	Évolutivité horizontale
Charge de travail	Avec état	Sans état
Type d'architecture	Client unique	Multi-client

3.3 Caractéristiques, niveaux de service et modèles de déploiement

Selon le NIST, le cloud computing doit posséder 5 caractéristiques essentielles :

- **Libre-service à la demande** : un consommateur peut fournir unilatéralement des capacités informatiques telles que l'heure du serveur et le stockage en réseau, au besoin, sans nécessiter d'interaction humaine avec le fournisseur de chaque service.
- **Large accès au réseau** : les capacités sont disponibles sur le réseau et sont accessibles via des mécanismes standards qui favorisent l'utilisation par des plates-formes clientes minces ou épaisses et hétérogènes (par exemple, les téléphones mobiles, les ordinateurs portables et les assistants personnels numériques ou PDA).
- **Mise en commun des ressources** : les ressources informatiques du fournisseur sont regroupées pour servir plusieurs consommateurs à l'aide d'un modèle multi-locataire, avec différentes ressources physiques et virtuelles attribuées dynamiquement et réattribuées en fonction de la demande du consommateur. Il y a un sentiment d'indépendance de localisation puisque le client n'a généralement aucun contrôle ou connaissance sur l'emplacement exact des ressources fournies, mais peut être capable de spécifier l'emplacement à un niveau d'abstraction plus élevé (par exemple, pays, état ou centre de données). Des exemples de ressources comprennent le stockage, le traitement, la mémoire, la bande passante du réseau et les machines virtuelles.
- **Une souplesse rapide** : les capacités peuvent être rapidement et élastiquement provisionnées, parfois automatiquement, pour évoluer rapidement et être disponible dans un temps réduit. Pour le consommateur, les capacités disponibles pour l'approvisionnement semblent souvent illimitées et peuvent être achetées en n'importe quelle quantité et à tout moment.
- **Service mesuré** : les systèmes de Cloud contrôlent et optimisent automatiquement l'utilisation des ressources en exploitant une capacité de comptage à un niveau d'abstraction approprié au type de service (par exemple stockage, traitement, bande passante et comptes d'utilisateurs actifs).

De ce fait, l'utilisation des ressources peut être surveillée, contrôlée et rapportée, ce qui permet une transparence pour le fournisseur et le consommateur du service utilisé.

Le NIST distingue 3 niveaux de service :

- **Software as a Service (SaaS)** : la capacité offerte au consommateur consiste à utiliser les applications du fournisseur s'exécutant sur une infrastructure cloud. Les applications sont accessibles à partir de divers périphériques clients via une interface client légère telle qu'un navigateur Web (par exemple, un e-mail basé sur le Web). Le consommateur n'a pas à gérer ou maîtriser l'infrastructure de cloud sous-jacente comprenant les réseaux, les serveurs, les systèmes d'exploitation, le stockage ou même les capacités d'application individuelles, à l'exception peut-être des paramètres de configuration d'application spécifiques à l'utilisateur (par exemple une banque « loue » un logiciel de comptabilité, en ligne, à la demande, chez un prestataire externe);
- **La plateforme en tant que service (PaaS)** : la capacité offerte au consommateur est de déployer sur l'infrastructure du cloud des applications créées ou acquises par le

consommateur, programmées avec des langages et outils pris en charge par le fournisseur. Le consommateur n'a pas à gérer ou maîtriser l'infrastructure de cloud sous-jacente comprenant le réseau, les serveurs, les systèmes d'exploitation ou le stockage. Par contre, il garde le contrôle des applications déployées et éventuellement des configurations d'environnement d'hébergement d'applications.

- **L'infrastructure en tant que service (IaaS)** : la capacité offerte au consommateur consiste à fournir une puissance de traitement, un espace de stockage, des réseaux et d'autres ressources informatiques fondamentales, en permettant au consommateur de déployer et d'exécuter des logiciels de son choix, notamment des systèmes d'exploitation et des applications. Le consommateur n'a pas à gérer ou maîtriser l'infrastructure de cloud sous-jacente, mais garde le contrôle des systèmes d'exploitation, du stockage, des applications déployées et, éventuellement dans une certaine mesure, de certains composants réseau (la totalité de l'infrastructure (ressources matérielles) est externe).

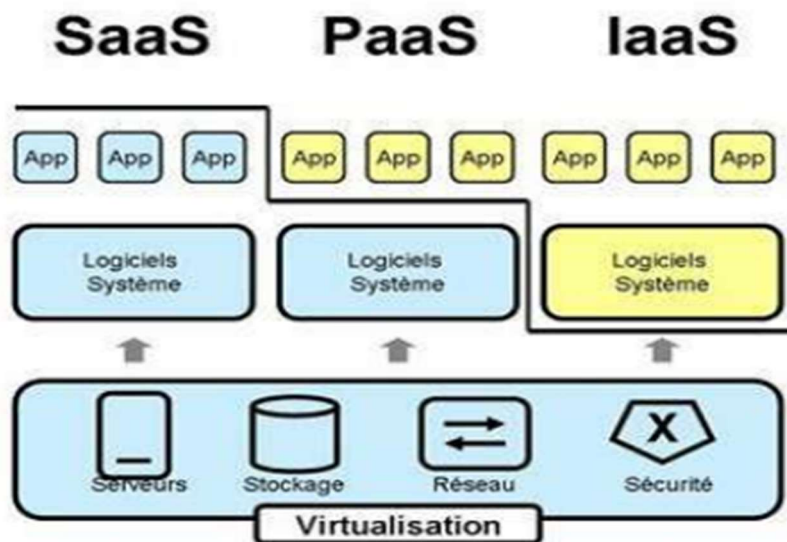


Figure 7: Services du Cloud

Et 4 modèles de déploiement :

- Cloud privé (au sein d'une même organisation) ;
- Cloud communautaire (réservé à une communauté) ;
- Cloud public (ouvert au grand public) ;
- Cloud hybride (composition de deux ou plusieurs types de nuages).

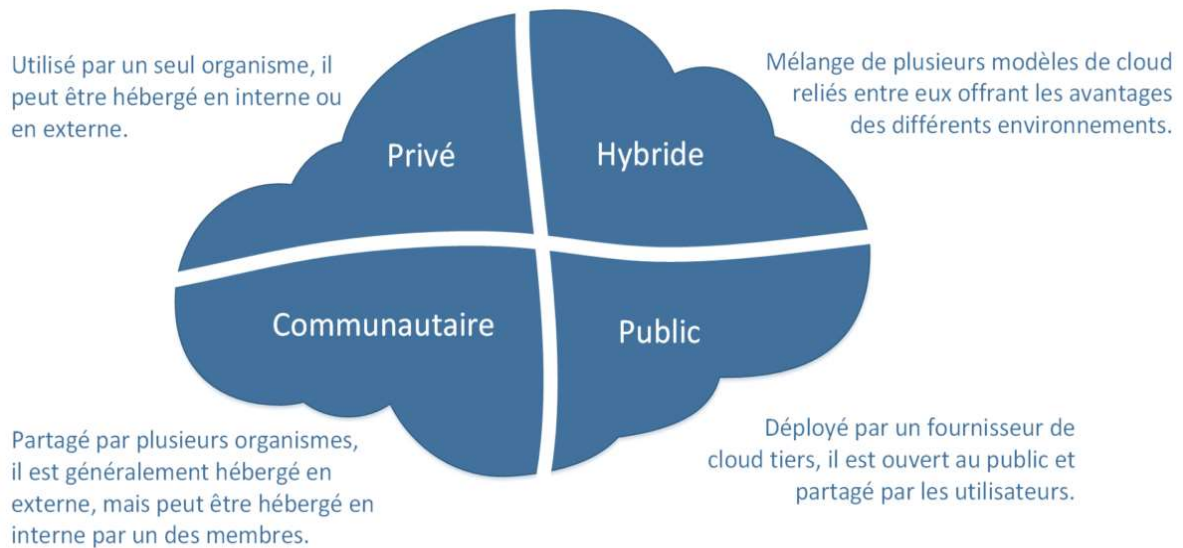


Figure 8: Modèles de déploiement

En résumé, le cloud est le point culminant de nombreuses parties :

- évolution des modèles commerciaux ;
- évolution fonctionnelle de l'Internet (augmentation de la vitesse de transmission, fiabilité accrue) ;
- normes de base de données ;
- coûts de matériel et de réseau considérablement réduits.

3.4 Avantages du Cloud Computing

Cette technologie offre plusieurs avantages et bénéfices pour les utilisateurs professionnels et les utilisateurs finaux. Les trois principaux avantages sont **l'approvisionnement en libre-service, l'élasticité, et le paiement à l'utilisation**. L'approvisionnement en libre-service permet aux utilisateurs finaux d'accéder à n'importe quelle ressource informatique à la demande. L'élasticité offre l'opportunité d'augmenter ou de réduire la consommation de ressources en fonction des besoins de l'entreprise. Enfin, le paiement à l'utilisation autorise les firmes à ne payer que pour les ressources consommées.

Le Cloud Computing permet aux entreprises de bénéficier d'avantages compétitifs de stockage afin de **réduire leurs coûts et d'accélérer l'innovation en améliorant la collaboration avec les partenaires et les clients**. Plus précisément, le Cloud Computing apporte trois avantages majeurs aux entreprises :

1. **Les coûts des Data Centers et des services informatiques peuvent être réduits et établis de manière proportionnelle à l'utilisation.** Selon la quantité d'usage, les coûts seront plus ou moins élevés grâce à l'élasticité rapide.

2. Les dépenses et les prises de risques pour l'innovation peuvent être considérablement réduites grâce au Cloud Computing. Ainsi, les entreprises peuvent prendre des paris plus risqués et tester davantage de nouvelles idées. Les **nouveaux projets peuvent être soutenus directement s'ils prennent de l'envergure, ou abandonnés s'ils échouent**. La scalabilité et l'élasticité offrent aux entreprises des possibilités inédites pour essayer de nouvelles idées d'activités et pour les développer si elles s'avèrent pertinentes.
3. Le Cloud Computing permet à une entreprise de collaborer d'une nouvelle manière avec ses partenaires commerciaux. Or, la collaboration est la clé vers l'obtention d'avantages compétitifs au sein de la chaîne de valeur. En développant des espaces de travail partagés au sein des Community Clouds, **les employés d'entreprises multiples peuvent travailler ensemble au sein d'un réseau d'entreprise virtuel comme s'ils travaillaient pour une seule et même compagnie**. Ils participent tous au sein du même système de création de valeur, et partagent leurs ressources de communication, d'information et d'informatique.

3.5 Inconvénients et critiques contre le Cloud Computing

Pour de nombreuses personnes, le stockage local utilisé pendant les dernières décennies demeure aujourd'hui supérieur au Cloud Computing. Ces personnes **considèrent qu'un disque dur permet de garder les données et les programmes physiquement proches**, autorisant un accès rapide et simplifié pour les utilisateurs de l'ordinateur ou du réseau local.

En 2013, l'ancien roboticien de la NASA Randall Monroe a tenté de prédire quand la bande passante d'internet surpasserait celle de FedEx. Pour cause, peu importe la vitesse d'une connexion internet, il reste moins cher d'envoyer des centaines de giga-octets de données via les avions et les camions de FedEx que par internet. Après réflexion, sa prédiction porte sur l'année 2040. En lisant cette conclusion, Cory Doctorow a perçu une critique implicite du Cloud Computing de la part de Monroe. Selon lui, **la vitesse et le coût du stockage local sont moins élevés qu'une connexion en réseau contrôlée par une entreprise de télécommunications**.

C'est le principal reproche émis à l'égard du Cloud. Les télécoms, les entreprises de médias et les FAI contrôlent l'accès. Faire entièrement confiance au Cloud signifie également **croire en un accès continu aux données sans aucun problème sur le long terme**. Un tel confort est envisageable, mais son coût est élevé. De plus, ce prix continuera d'augmenter à mesure que les fournisseurs de Cloud trouvent un moyen de faire payer plus cher en mesurant par exemple l'utilisation du service. Le tarif augmente proportionnellement à la bande passante utilisée.

En dehors de ce problème de confiance, de nombreux autres arguments s'opposent au Cloud Computing. Le cofondateur d'Apple, Steve Wozniak, a ainsi critiqué le Cloud en 2012 en présentant **de nombreux problèmes de grande envergure dans les cinq années à venir**. On peut par exemple redouter des crashes. Durant l'été 2012, Amazon a rencontré ce type de problème. En tant que fournisseur d'entreprises comme Netflix ou Pinterest, l'entreprise américaine a ainsi provoqué la mise hors service des plateformes de ces clients. En 2014, Dropbox, Gmail, Basecamp, Adobe, Evernote, iCloud et Microsoft ont rencontré des problèmes similaires. En 2015, ce fut le tour de Apple, Verizon, Microsoft, AOL, Level 3, Google et Microsoft. Ces désagréments ne durent généralement que quelques heures, mais représentent une perte d'argent colossale pour les entreprises affectées.

3.6 Le multi-Cloud

À l'origine, le cloud computing était supposé simplifier les environnements informatiques en entreprise. Cependant, selon une récente étude menée par Microsoft et 451 Research, près d'un tiers des entreprises travaillent avec 4 vendeurs cloud ou plus. De fait, on peut considérer que le multi-cloud est le futur du cloud.

Cette tendance est liée à plusieurs facteurs. Tout d'abord, certaines entreprises souhaitent tout simplement avoir davantage d'options. En faisant appel à plusieurs fournisseurs de cloud, pour prendre en charge différentes applications et divers workload, ces entreprises peuvent utiliser la solution qui correspond le mieux à chacun de leurs besoins.

En s'appuyant sur un seul modèle cloud, une entreprise risque d'être handicapée. Il est donc inévitable pour les grandes entreprises aux divisions multiples d'utiliser plusieurs clouds. Selon un rapport publié par Ovum, un quart des entreprises européennes ne sont pas satisfaites par leur fournisseur de services cloud, notamment à cause de mauvaises performances, d'une garantie insuffisante, et d'un manque de support personnalisé.

Par ailleurs, s'appuyer sur un seul service cloud augmente la vulnérabilité de l'entreprise face à différents problèmes tels que les pannes de data centers ou les problèmes de bande passante. Une application cloud qui est sans cesse hors-ligne donne une mauvaise image de l'entreprise et peut conduire à la perte de clients. Si une application dépend d'un seul fournisseur cloud, il est également difficile de négocier en cas de désaccord.

Les controverses liées à la souveraineté des données mènent également à l'essor du multi-cloud, notamment pour les entreprises européennes. Le fait de stocker les données localement minimise ces problèmes de souveraineté. En revanche, diriger le trafic vers des data centers situés le plus près possible des utilisateurs est indispensable pour les applications en proie à la latence.

Le multi-cloud présente des avantages, mais peut aussi représenter un challenge pour les entreprises, notamment pour passer d'un cloud à l'autre. Malheureusement, tous les environnements informatiques sont différents, et le cloud ne fait pas exception. Les fournisseurs cloud font leur possible pour simplifier au maximum le transfert des applications sur leurs plateformes respectives, mais font aussi de leur mieux pour empêcher les clients de quitter leur service.

De nombreuses entreprises se soucient, à juste titre, du temps nécessaire pour déplacer des petabytes de données entre deux services cloud. Heureusement, tous les principaux fournisseurs de services cloud utilisent la même technologie Active Data Replication, permettant de déplacer facilement des données entre les clouds.

Google a récemment acquis Orbitera, une plateforme prenant en charge le commerce multi-cloud. C'est la preuve que Google considère également les environnements multi-cloud comme un enjeu du futur. Amazon Web Services reste à l'heure actuelle le leader du marché du cloud, mais les entreprises qui souhaitent avoir la liberté de jongler entre plusieurs services cloud et d'éviter de s'astreindre à un seul vendeur pourraient permettre aux autres fournisseurs de prendre leur envol.

Sur ce marché compétitif, le multi-cloud représente un nouveau front dans la guerre du cloud. Il s'agit d'une bonne nouvelle pour les entreprises en recherche de flexibilité, d'économies, et éventuellement de meilleures solutions.

4 Comparaison

4.1 Préambule

4.1.1 AWS

L'histoire d'Amazon Web Services débute en 2002, avec le lancement de la beta "Amazon.com Web Service". Cette beta offre aux développeurs des interfaces SOAP et XML pour le catalogue de produits Amazon. Il s'agit d'un premier pas vers le Cloud que nous connaissons aujourd'hui.

Peu après, en 2003, Jeff Bezos réunit chez lui les cadres d'Amazon. Le chef d'entreprise leur demande d'identifier les principales forces de l'organisation. De cette réunion, il ressort un constat clair : les services d'infrastructures confèrent à Amazon un véritable avantage sur la compétition.

Les leaders de la firme de Seattle ont alors l'idée de combiner des services d'infrastructure et des outils développeurs pour créer une sorte de système d'exploitation pour internet. Leur idée serait d'isoler les différentes parties de l'infrastructure, telles que la puissance de calcul, le stockage et les bases de données sous forme de composants pour l'OS. Des outils destinés aux développeurs permettraient de gérer ces composants.

Cette idée sera pour la première fois dévoilée au public dans un billet de blog, en 2004. Par la suite, **AWS est officiellement lancé le 19 mars 2006** en combinant les trois offres de services : Amazon S3 cloud storage, SQS et EC2. A l'époque, la plateforme regroupe uniquement Simple Storage Service (S3) et Elastic Compute Cloud (EC2). Rapidement, Simple Queue Service (SQS) est ajouté.

En 2009, S3 et EC2 sont lancés en Europe. La même année, Elastic Block Store (EBS) est rendu public au même titre qu'un puissant CDN (Content Delivery Network) : Amazon CloudFront. Ces services attirent de nombreux développeurs et posent les bases de partenariats avec des entreprises telles que Dropbox, Netflix et Reddit.

Un premier événement est organisé en 2012. Par la suite, AWS file sur la route du succès mondial. La firme atteint un chiffre d'affaire de 4,6 milliards de dollars en 2015, puis 10 milliards de dollars en 2016.

La même année, Snowball et Snowmobile sont lancés. En 2019, Amazon Web Services offre près de 100 services Cloud. Un long chemin a été parcouru depuis les débuts de la plateforme.

En 2002 Amazon, le site marchand de renommée internationale, lançait "Amazon Web Services". Le 'fait divers' relatant la location des ressources non-utilisées par le site-marchand à des entreprises, a donné l'idée à la société de Seattle de mettre en place un ensemble de services web destinés à plusieurs types de clients. Le catalogue de services s'est enrichi avec le temps, et on ne compte pas moins d'une quinzaine d'offres de services à l'heure actuelle. L'offre la plus connue est certainement Amazon Elastic Compute Cloud, ou EC2, qui permet un déploiement de machines virtuelles directement par le client, de manière automatisée, et en fonction du besoin, d'où le terme élastique. Les possibilités sont multiples et la technologie Xen, évoquée au chapitre sur la virtualisation, permet de définir chaque machine virtuelle comme un serveur virtuel privé. Les coûts sont calculés en fonction du temps d'utilisation. La localisation géographique semble également jouer un rôle dans la variation du prix à l'heure.

Diverses sont les entreprises qui ont exploité les solutions cloud AWS pour leur croissance. AWS a été la première entreprise à proposer des solutions cloud à grande échelle. Il a constamment grandi et s'est développé pour être au sommet aujourd'hui. Il est classé comme le premier fournisseur de cloud par Gartner en termes d'exhaustivité de la vision et de capacité d'exécution.

AWS propose à présent plus que 200 services.

Parmi les clients d'AWS on trouve : Netflix, Airbnb, BMW, Samsung, MI, etc.

4.1.2 Microsoft Azure

En octobre 2008, Steve BALLMER, le PDG de Microsoft, annonce le projet Windows Azure (maintenant Microsoft Azure) lors de la Professional Developers Conference à Los Angeles. La version bêta du service est mise à disposition gratuitement en Novembre. Au 1^{er} février 2010, la plate-forme devient payante en version définitive dans plusieurs pays et c'est après 4 ans que le projet est rebaptisé « Microsoft Azure »

Comme les autres fournisseurs de services Cloud, Microsoft Azure **permet de profiter de ressources de Cloud Computing à la demande**. Il permet aux entreprises de faire d'importantes économies en leur évitant d'avoir à ériger un centre de données sur site, de le maintenir, de le mettre à jour, de le refroidir et de payer l'électricité.

Cette plateforme Cloud permet aussi de **simplifier l'utilisation et l'administration de technologies Microsoft** comme Windows Server, Active Directory et SharePoint. Ainsi, les équipes informatiques peuvent se concentrer sur d'autres projets.

En outre, à l'avenir, Microsoft compte **ajouter des fonctionnalités d'intelligence artificielle** à sa plateforme. Dans le cadre de la conférence Microsoft Build 2018, la firme de Redmond a dévoilé l'intégration du Project Brainwave (un système de Deep Learning conçu pour l'IA en temps réel) à Azure.

Actuellement, **Azure est disponible dans 50 régions différentes**. Microsoft propose ses services dans un plus grand nombre de marchés émergents que ses concurrents AWS et Google Cloud : Asie-Pacifique, Afrique du Sud, Emirats Arabes Unis...

Sur les 50 régions, 16 sont situées aux USA, 2 au Canada, et une au Brésil. En Europe, quatre régions sont situées en Allemagne, et **deux en France**, au Royaume-Uni, et en Suisse. L'Irlande et les Pays-Bas ont également une région chacun. On trouve quatre régions en Asie Pacifique, en Chine et en Australie, trois en Inde, deux en Corée du Sud et au Japon, et une à Hong Kong et à Singapour. L'Afrique du Sud et les Emirats Arabes Unis ont quant à eux deux régions chacun.

En septembre 2020, à l'occasion de son salon annuel Ignite, Microsoft annonce la création d'une division Microsoft Azure Orbital, une station terrienne qui connecte les satellites et les véhicules spatiaux de ses clients à son réseau de cloud computing.

Microsoft Azure compte aujourd'hui plus de 100 services.

Johnson Controls, Polycorn, Adobe, HP, Fujifilm, etc utilisent Microsoft Azure comme leur fournisseur Cloud primaire aujourd'hui.

4.1.3 GCP

Google Cloud Platform (GCP) est une plateforme de cloud computing fournie par Google, proposant un hébergement sur la même infrastructure que celle que Google utilise en interne pour des produits tels que son moteur de recherche¹. Cloud Platform fournit aux développeurs des produits permettant de construire une gamme de programmes allant de simples sites web à des applications complexes.

Google Cloud Platform fait partie d'un ensemble de solutions pour les entreprises appelé Google Cloud, et fournit des services modulaires basés sur le cloud, tels que le stockage d'informations, le calcul, des applications de traduction et de prévision, etc.

La Google Cloud Platform est une suite de services cloud offerts par Google. La plateforme regroupe différents services Cloud de calcul, de stockage, de networking, de Big Data, de machine Learning, d'internet des objets, de sécurité, de gestion cloud et de développement d'applications qui sont directement lancés sur les serveurs de Google.

Les services Cloud peuvent être utilisés par des développeurs logiciels, des administrateurs cloud et autres professionnels de l'informatique sur internet ou par le biais d'une connexion réseau dédiée. Ce service ne s'adresse pas aux grands publics souhaitant par exemple héberger ses souvenirs sur Cloud Photo.

La version bêta de Google App Engine est lancée en avril 2008, Google App Engine est une plateforme en tant que service pour tester des applications dans un bac à sable. App Engine offre du changement d'échelle automatique, augmentant les ressources pour faire face à la charge du serveur. En juillet 2019, Google Cloud obtient la certification française Hébergeur de Données de Santé.

Les clients les plus connus de GCP sont HSBC, PayPal, 20th Century Fox, Bloomberg, Target, Dominos, etc.

4.2 Zones de disponibilité

Une zone de disponibilité comprend un ou plusieurs centres de données discrets dotés d'une alimentation redondante, d'une mise en réseau et d'une connectivité au sein d'une région (emplacement physique dans le monde où sont regroupés des centres de données).

- **AWS**



Figure 9: Régions d'AWS

- **Microsoft Azure**



Figure 10: Régions d'Azure

- **GCP**



Figure 11: Régions de GCP

4.3 Parts dans le marché

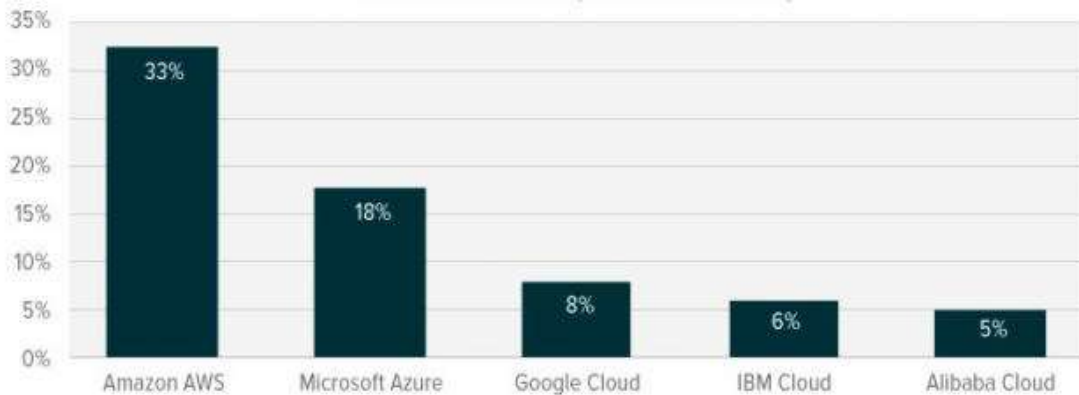


Figure 12: Répartition du marché de février 2020



Figure 13: Répartition du marché de février 2021

AWS vient en tête des fournisseurs Cloud dans le marché avec une part de 33% en 2020 comme en 2021, sa dominance a pourtant diminué par rapport à 2019 où il occupait 40% du marché (selon les statistiques de KeyBanc).

Azure a conservé également la même part dans les deux années. Mais sa part a bondi de 12% par rapport à 2019 (où il dominait 30% du marché selon les statistiques de KeyBanc).

Quant à GCP, il a augmenté sa part dans le marché de 1% par rapport à 2020 et de 9% par rapport à 2019 (où il tenait 10% du marché du Cloud public selon les statistiques de KeyBanc).

Certes, GCP n'est pas encore le plus dominant dans le marché du Cloud public, pourtant, l'évolution de son part pendant ces 3 dernières années était la plus marquante et la plus prometteuse par rapport à ses adversaires.

4.4 Services proposés

4.4.1 Serveurs applicatifs

Vue la multitude des produits proposés par ces trois protagonistes, Il a été décidé de limiter le périmètre de l'étude à une comparaison des services suivants :

- serveurs applicatifs ;
- serveurs de stockage ;
- API manager (APIM) ;
- troubleshooting ;
- bases de données relationnelles ;
- surveillance.

Amazon Elastic Compute Cloud (Amazon EC2), lancé en 2006, Virtual Machine (Microsoft Azure), lancé en 2008, et Google Compute Engine (GCP) sont des services Web qui fournissent une capacité de calcul sécurisée et redimensionnable dans le cloud. Destinés aux développeurs, ils sont conçus pour faciliter l'accès aux ressources de cloud computing à l'échelle du Web. L'interface simple du service Web Amazon EC2 permet d'obtenir et de configurer des capacités avec un minimum d'efforts. Elle confère au client le contrôle total de ses ressources informatiques et permet d'exécuter des applications dans l'environnement informatique éprouvé d'Amazon.

Amazon EC2 offre la plateforme de calcul la plus vaste et la plus approfondie avec un choix de processeur, de stockage, de mise en réseau, de système d'exploitation et de modèle d'achat. Elle propose les processeurs les plus rapides dans le cloud et est le seul service cloud à offrir une mise en réseau Ethernet de 400 Gbit/s. Elle offre les instances GPU les plus puissantes pour les entraînements de machine learning et les charges de travail graphiques, ainsi que les instances avec le coût par inférence le plus faible dans le cloud.

La différence la plus remarquable entre ces trois services réside en temps de performance. En effet, Virtual Machine prend plus de temps pour lancer une instance (au-dessus d'une minute) contre une minute pour le EC2 et quelques secondes dans le cas du Compute Engine. On note également des différences très négligeables au niveau de la mise en réseau Ethernet, de la puissance des GPU, des types et performances des processeurs.

On peut alors dire que le Compute Engine est préférable aux débits produits d'AWS et d'Azure au niveau de la performance.

4.4.2 Serveurs de stockage

Les serveurs de stockage les plus connus proposés par AWS, Microsoft Azure et GCP sont respectivement : Simple Storage Service (S3), Blob Storage et Cloud Storage.

Ces trois produits fonctionnent d'une manière similaire. Ils représentent des systèmes de classement basés sur des objets, les fichiers que l'on souhaite stocker sur ces systèmes peuvent être traités comme des objets.

Ce genre de systèmes se compose de buckets (seaux) qui se composent en outre de dossiers racines où sont stockés et entreposés les données.

Ces services permettent de **faciliter la collecte, le stockage et l'analyse de données à grande échelle**. Les données peuvent être collectées à partir de nombreuses sources telles que des sites web, des applications mobiles, des applications d'entreprises ou des capteurs d'objets connectés. De nombreux utilisateurs de ce service stockent des milliards d'objets et des exaoctets de données.

Sur S3, il est possible de réaliser des économies en triant les données par tiers selon la fréquence à laquelle il y a besoin d'y accéder.

4.4.3 API Managers

Une API est un ensemble de définitions et de protocoles qui facilite la création et l'intégration de logiciels d'applications et l'accès aux données d'une manière synchrone. API est un acronyme anglais qui signifie « Application Programming Interface », que l'on traduit par interface de programmation d'application.

Les API permettent à un produit ou service de communiquer avec d'autres produits et services sans connaître les détails de leur mise en œuvre. Elles simplifient le développement d'applications et font ainsi gagner du temps et de l'argent à l'utilisateur. Lorsque l'on conçoit de nouveaux outils et produits, ou que l'on assure la gestion de ceux qui existent déjà, les API offrent plus de flexibilité, simplifient la conception, l'administration et l'utilisation, et donnent les moyens d'innover.

Concrètement, on imagine un distributeur de livres. Ce distributeur pourrait fournir à ses librairies clientes une application qui leur permet de vérifier la disponibilité des livres auprès du fournisseur. Mais le développement de cette application risque de coûter cher et de durer longtemps, alors que l'application finale risque d'être limitée par la plateforme et de nécessiter une maintenance continue.

Le distributeur peut aussi fournir une API pour vérifier la disponibilité des stocks. Cette approche présente plusieurs avantages :

- En accédant aux données via une API, les clients ont la possibilité de centraliser les informations sur leur inventaire ;
- Le distributeur peut modifier ses systèmes internes sans impacter l'expérience de ses clients, tant que le comportement de son API ne change pas ;
- Avec une API publique, les développeurs qui travaillent pour le distributeur, pour les librairies ou pour d'autres entreprises peuvent développer une application qui aide les clients à trouver les livres qu'ils souhaitent acheter. Ainsi, les distributeurs peuvent augmenter leurs ventes ou saisir de nouvelles opportunités commerciales.

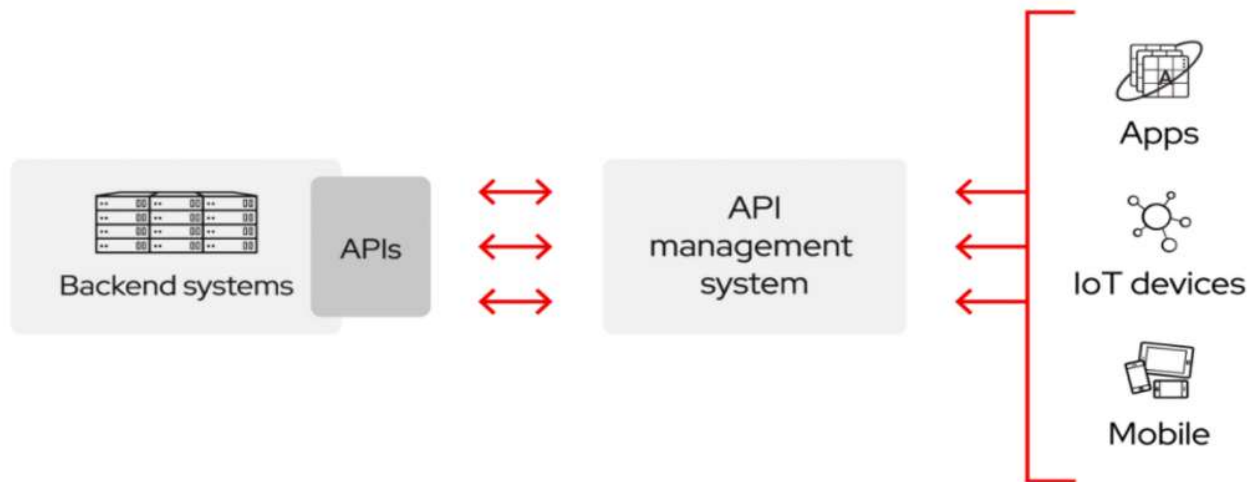


Figure 14: Fonctionnement de l'API

En résumé, les API permettent aux applications d'exposer ces données à des consommateurs et les API managers codifient et gèrent l'accès à ces APIs (les ressources accessibles par chaque consommateur, les types de lecture de ces données (get, patch, put, delete...) auxquels peut accéder chaque consommateur.

La gestion des interfaces de programmation, ou gestion des API, consiste en un ensemble d'outils et de services permettant aux développeurs et aux entreprises de concevoir, d'analyser, d'exploiter et de mettre à l'échelle des API au sein d'environnements sécurisés. La gestion des API peut être effectuée sur site, sur le cloud ou via une approche hybride combinant une utilisation sur site et sur SaaS (Software as a Service).

À l'heure actuelle, les développeurs, les entreprises et les organismes créent régulièrement des API qui permettent à d'autres acteurs d'utiliser leurs produits et services. Des centaines de milliers d'API ont été conçues pour faciliter l'échange d'informations entre différents secteurs. En parallèle à l'augmentation constante du nombre d'API, la nécessité de contrôler et de gérer ces API dans des environnements sécurisés et évolutifs ne cesse de croître pour les développeurs et les entreprises.



Figure 15: Cycle Vie d'une API

• APIM AWS

Amazon API Gateway est un service entièrement opéré, qui permet aux développeurs de créer, publier, gérer, surveiller et sécuriser facilement des API à n'importe quelle échelle. Les API servent de « porte d'entrée » pour que les applications puissent accéder aux données, à la logique métier ou aux fonctionnalités de vos services backend. À l'aide d'API Gateway, l'utilisateur peut

créer des API RESTful et des API WebSocket qui permettent de concevoir des applications de communication bidirectionnelle en temps réel. API Gateway prend en charge les charges de travail conteneurisées et sans serveur, ainsi que les applications web.

API Gateway gère toutes les tâches liées à l'acceptation et au traitement de plusieurs centaines de milliers d'appels d'API simultanés, notamment la gestion du trafic, le contrôle des autorisations et des accès, la limitation, la surveillance et la gestion de la version de l'API. Aucuns frais minimum ou coûts initiaux ne s'appliquent à API Gateway. Le client paye pour les appels d'API qu'il reçoit et la quantité de données transférées et, avec le modèle de tarification par paliers de l'API Gateway, il peut réduire vos coûts en fonction de l'utilisation de votre API.

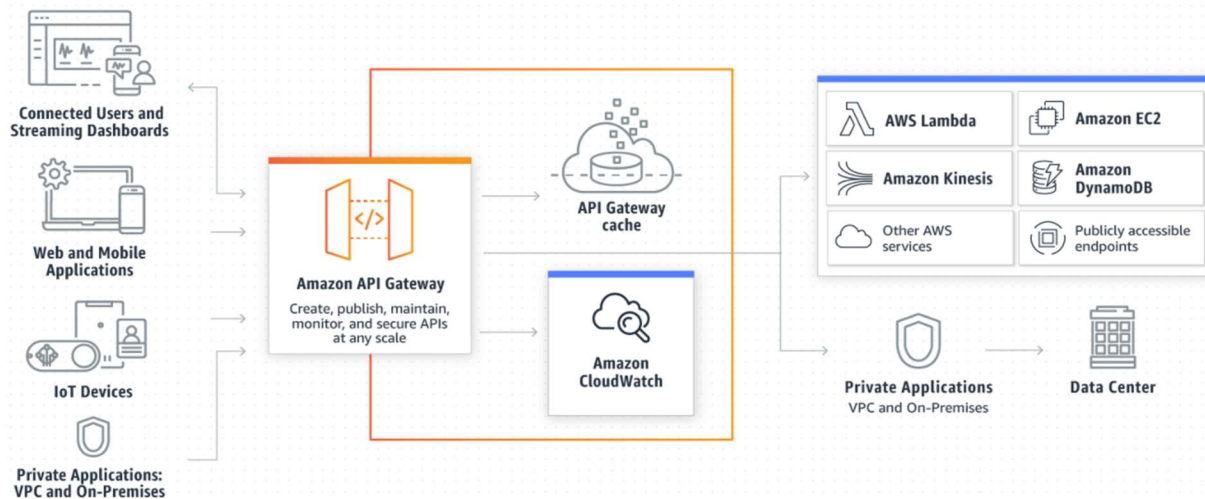


Figure 16: Mode de fonctionnement d'API Gateway

L'API Gateway d'Amazon a de nombreux avantages:

- Un développement efficace de l'API

Possibilité d'exécuter plusieurs versions de la même API simultanément avec API Gateway, ce qui permet d'itérer, de tester et de publier rapidement de nouvelles versions. L'utilisateur paye pour les appels vers ses API et les transferts de données et il n'y a pas de frais minimums ou d'engagements initiaux.

- Des performances à n'importe quelle échelle

Offre aux utilisateurs finaux la latence la plus faible possible pour les requêtes et les réponses API en tirant parti du réseau mondial de sites périphériques d'AWS grâce à Amazon CloudFront. Limite le trafic et autorise les appels d'API pour assurer aux utilisateurs que les opérations backend résistent aux pics de trafic et que les systèmes backend ne sont pas inutilement appelés.

- Réduction des coûts à grande échelle

API Gateway fournit un modèle de tarification progressive pour les requêtes API. Avec un prix aussi bas que 0,90 USD par million de requêtes API au niveau le plus élevé, on peut réduire ses coûts à mesure que l'utilisation d'API augmente par région sur vos comptes AWS.

- Surveillance facile

Permet la surveillance des mesures de performance et les informations sur les appels d'API, la latence des données et les taux d'erreur à partir du tableau de bord API Gateway, qui permet de surveiller visuellement les appels vers les services de l'utilisateur en utilisant Amazon CloudWatch.

- Contrôles de sécurité flexibles

L'utilisateur peut autoriser l'accès à ses APIs avec AWS Identity and Access Management (IAM) et Amazon Cognito. Si l'appelant des jetons OAuth. Pour se conformer aux exigences d'autorisation personnalisées, on peut exécuter un autorisateur Lambda à partir d'AWS Lambda.

➤ Options relatives aux API RESTful

Créez des API RESTful en utilisant des API HTTP ou des API REST. Les API HTTP constituent le meilleur moyen de créer des API pour la majorité des cas d'utilisation. Elles sont jusqu'à 71 % moins onéreuses que les API REST. Si votre cas d'utilisation nécessite d'exploiter des fonctionnalités de proxy d'API et de gestion au sein d'une seule solution, vous pouvez employer des API REST.

Le montant facturé pour API Gateway dépend du nombre d'appels d'API, comme décrit dans le tableau suivant :

Région : Europe (Paris) ↕

Appels d'API

Nombre de demandes gratuites (par mois)	Prix (par million)
Premiers 300 millions	1,17 USD
+ de 300 millions	1,05 USD

*Les API HTTP sont mesurées par paliers de 512 Ko.

Figure 17: Coûts de l'API Gateway d'AWS

- **APIM Microsoft Azure**

Microsoft Azure propose Gestion des API Azure comme API manager, l'une des fonctionnalités les plus marquantes est la passerelle auto-hébergée qui permet la gestion des API hybrides et multiclouds.

En effet, la fonctionnalité de passerelle auto-hébergée étend la prise en charge Gestion des API pour les environnements hybrides et multiclouds, et permet aux organisations de gérer efficacement et en toute sécurité les API hébergées localement et entre les clouds à partir d'un seul service de gestion des API dans Azure.

Avec la passerelle auto-hébergée, les clients ont la possibilité de déployer une version en conteneur du composant de la passerelle Gestion des API dans les mêmes environnements que ceux où ils hébergent leurs API. Toutes les passerelles auto-hébergées sont managées à partir du service Gestion des API avec lequel elles sont fédérées. Ainsi, les clients bénéficient d'une visibilité et d'une expérience de gestion unifiée sur l'ensemble des API internes et externes. Le placement des passerelles à proximité des API permet aux utilisateurs d'optimiser les flux de trafic d'API et de répondre aux exigences de sécurité et de conformité.

Chaque service Gestion des API se compose des éléments clés suivants :

- Plan de gestion, exposé sous la forme d'une API, utilisé pour configurer le service via le Portail Azure, PowerShell et d'autres mécanismes pris en charge ;

- La passerelle (ou le plan de données) est responsable du proxy des demandes d'API, de l'application des stratégies et de la collecte des données de télémétrie ;
- Portail des développeurs utilisé par les développeurs pour découvrir, apprendre et intégrer afin d'utiliser les API.

Par défaut, tous ces composants sont déployés dans Azure, ce qui entraîne le flux de tout le trafic API (représenté par des flèches noires pleines sur l'image ci-dessous) dans Azure, quel que soit l'endroit où les serveurs principaux implémentant les API sont hébergés. La simplicité opérationnelle de ce modèle a un coût : une latence accrue, des problèmes de conformité et, dans certains cas, des frais de transfert de données supplémentaires.

Le déploiement de passerelles auto-hébergées dans les mêmes environnements où sont hébergées les implémentations d'API back-end permet au trafic d'API de circuler directement vers les API back-end. Ceci améliore la latence, optimise les coûts de transfert de données et assure la conformité tout en conservant les avantages d'un point unique de gestion, d'observabilité et de découverte de toutes les API au sein de l'organisation, quel que soit l'emplacement où leurs implémentations sont hébergées.

La passerelle auto-hébergée est une version en conteneur, fonctionnellement équivalente, de la passerelle managée déployée sur Azure dans le cadre de chaque service Gestion des API. La passerelle auto-hébergée est disponible sous la forme d'un conteneur Docker basé sur Linux à partir de Microsoft Container Registry. Elle peut être déployée sur Docker, Kubernetes ou toute autre solution d'orchestration de conteneurs s'exécutant sur un cluster de serveurs local, sur une infrastructure cloud ou, à des fins d'évaluation et de développement, sur un ordinateur personnel.

Le montant facturé pour Gestion des API Azure du nombre d'appels d'API, comme décrit dans le tableau suivant :

	CONSOMMATION	DÉVELOPPEUR	BASIC	STANDARD	PREMIUM	APERÇU ISOLÉ
Objectif	Version <u>légère</u> et sans serveur du service Gestion des API, facturée par exécution	Évaluations et cas d'utilisation hors production	Cas d'usage de base en production	Cas d'usage de production impliquant des volumes moyens	Cas d'usage de production en entreprise ou impliquant de grandes volumes	Cas d'usage de production en entreprise nécessitant un niveau élevé d'isolation
Tarif (unitaire)	2,95155 € par million d'appels (1 M d'appels gratuits ³)	0,06 €/heure	0,18 €/heure	0,80 €/heure	3,23 €/heure	TBA ⁸

Figure 18: Coûts de Gestion des API Azure

• APIM GCP

Avec API Gateway, on peut créer, sécuriser et surveiller les API pour les backends sans serveur de Google Cloud, y compris Cloud Functions, Cloud Run et App Engine. Conçu sur Envoy, API Gateway offre hautes performances et évolutivité, et permet à l'utilisateur de se consacrer à la création d'applications de qualité. Ses niveaux de tarification basés sur la consommation l'aident à mieux gérer les coûts.

Le manager des produits techniques Fabian Seitz a confirmé que « API Gateway facilite la gestion de tous les appels d'API vers nos backends sans serveur. Avant d'utiliser API Gateway, on avait des difficultés à effectuer le scaling de certains types d'appels d'API et à les consolider.

On a non seulement résolu ces problèmes, mais également multiplié ses performances par 10 en matière de gestion des API grâce à une plate-forme centralisée, facilement accessible via Cloud Console et entièrement gérée par Google Cloud ».

Les avantages de l'API Gateway sont :

➤ Passerelle entièrement gérée

Exploitez tous les avantages opérationnels de la technologie sans serveur (déploiement flexible, évolutivité, etc.). API Gateway gère les API pour Cloud Functions, Cloud Run, App Engine, Compute Engine et GKE.

➤ Complexité réduite

API Gateway offre des outils cohérents et faciles à utiliser aux développeurs et aux consommateurs, que l'on utilise ses API en interne ou que l'on autorise d'autres développeurs à y accéder.

➤ Sécurité et visibilité

Les mécanismes intégrés dans API Gateway, dont l'authentification et la validation des clés, permettent de protéger les services publiés en ligne. Gagnez en visibilité sur vos API grâce aux services de surveillance, d'alerte, de journalisation et de traçage.

Les tarifs d'API Gateway sont basés sur le nombre d'appels envoyés à Service Control. Chaque appel d'API traité par API Gateway est consigné en tant qu'opération suivie par l'API Service Control, et une ligne correspondant à l'utilisation de Service Control s'affiche sur votre facture.

Le montant facturé pour API Gateway dépend du nombre d'appels d'API, comme décrit dans le tableau suivant :

Nombre d'appels d'API par mois et par compte de facturation	Coût par million d'appels d'API
Entre 0 et 2 millions	0,00 \$
Entre 2 millions et 1 milliard	3,00 \$
Plus de 1 milliard	1,50 \$

Figure 19: Coûts de l'API Gateway de Google

Google Cloud Platform annonce également suite à la pandémie en cours Apigee X en 2020. Une version majeure de la plate-forme de Google de gestion d'API, Apigee X associe de manière transparente l'expertise de Google Cloud en matière d'IA, de sécurité et de mise en réseau pour aider les entreprises gérer efficacement les actifs sur lesquels reposent les initiatives de transformation numérique.

4.4.4 Troubleshooting




Notre comparaison se basera sur les services primaires des plateformes étudiées :

- CloudTrail d'Amazon ;
- Azure Operational Insights d'Azure ;
- Stack Driver Logging de Google.

Les trois n'ont pas de différences remarquables non plus.

Les 3 services peuvent scanner toutes les applications déployées sur leur plateforme avec les appels de l'API, ceux-ci sont enregistrées dans les journaux du serveur et peuvent être tracées. Quand il y a une erreur, on peut donc facilement localiser la partie spécifique de cet échec dans l'application.

4.4.5 Bases de données relationnelles

	 Relational Database Service (RDS)	 Windows Azure SQL Database	 SQL Database
Mode de fonctionnement	<ul style="list-style-type: none"> Configuration automatique des données quel que soit leur langage ; Les sauvegardes, les correctifs de sécurité et les mises à jour sont gérés automatiquement. 	<ul style="list-style-type: none"> Le code de l'application à entrer doit être modifié manuellement pour qu'il soit compatible avec SQL Database ; Pas de mise à jour de données automatique. 	<ul style="list-style-type: none"> Le code de l'application à entrer doit être modifié manuellement pour qu'il soit compatible avec SQL Database ; Pas de mise à jour de données automatique.
Les serveurs SQL traités	MySQL, MariaOb, Oracle, SQL server et PostgreSQL.	SQL server.	MySQL, PostgreSQL.

4.4.6 Surveillance

CloudWatch Service (seul service de surveillance proposé par AWS), Azure Application Insights et StackDriver Monitoring Service fonctionnent exactement de la même manière et n'ont pas de points de différence au niveau de la performance. Ils permettent au client de surveiller facilement toutes et chacune des ressources de service en cours d'exécution dans son compte. Ils lui fournissent également des informations de base telles la quantité de trafic arrivant sur son instance, le type de trafic connecté à son instance, les performances de cette dernière...

4.5 Coûts

La tarification de tous les fournisseurs de services Cloud repose sur un **modèle économique de facturation à l'utilisation (pay-as-you-go)**, c'est-à-dire que les utilisateurs payent en fonction des ressources/nombre d'appels qu'ils consomment. La consommation des ressources/nombre d'appels est calculée avec précision à la minute ou à l'appel près.

L'autre avantage de ce modèle est que **les utilisateurs n'ont pas à payer de frais initiaux**. De même, la facturation prend fin dès que l'utilisateur cesse d'utiliser les services sans avoir à payer de frais de résiliation.

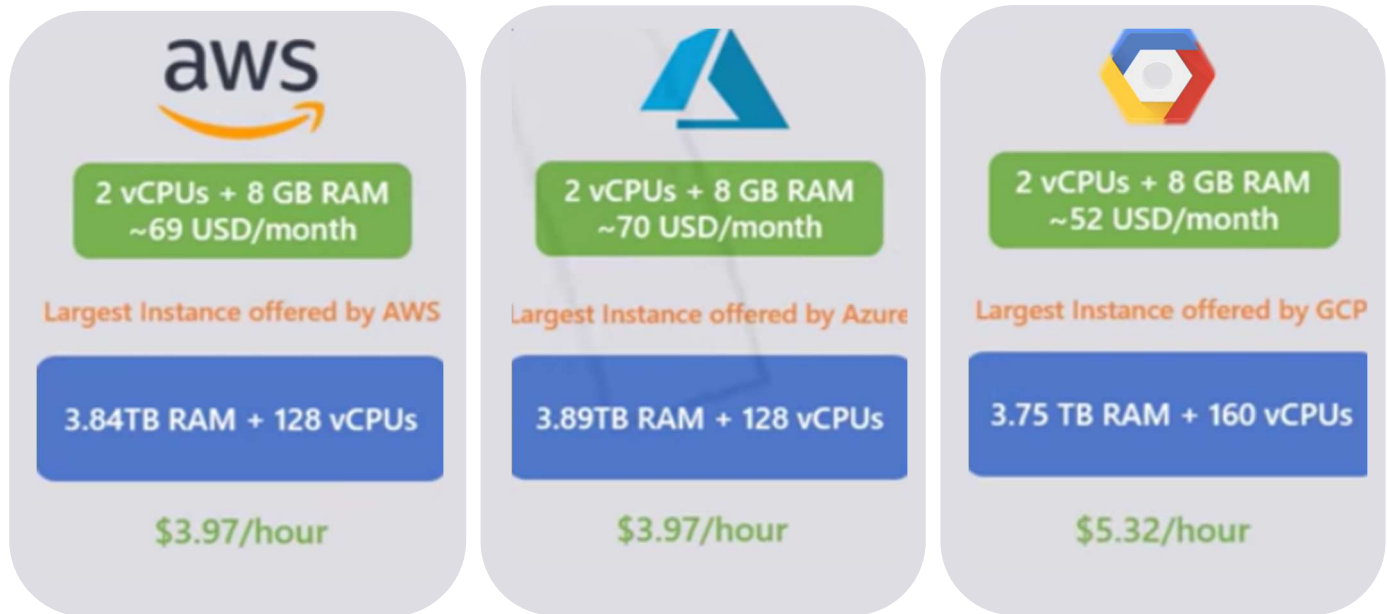


Figure 20: Tarification

Notons que **le programme Microsoft for Startups** permet aux startups éligibles de profiter de 10000 dollars de crédits Azure pendant un an. Pour profiter de cette offre, il est nécessaire d'être en collaboration avec l'un des 200 accélérateurs de startups partenaires de Microsoft.

De même, le **programme Azure for Students** permet aux étudiants de profiter de 100 dollars de crédits à utiliser dans un délai de 12 mois. Ce programme offre aussi un accès à 25 produits telles que les machines virtuelles et le stockage Cloud.

Pour les services Google Compute Engine et Cloud SQL, Google propose également un système de remise automatique pouvant aller jusqu'à 30% sur les charges de travail les plus utilisées. Les tarifs varient entre les différents services et doivent donc être consultés au cas par cas sur le site officiel.

5 Bilan

5.1 Atouts

5.1.1 AWS

- Domination du domaine du Cloud avec les fonctionnalités de la surveillance, la sécurité, l'auto-scaling (mise en échelle automatique)... ;
- Plus d'offres et meilleures options ;
- Plus d'expertise + services favorables aux entreprises ;
- Intégration meilleure d'outils open source ;
- Portée mondiale ;

- Documentation : AWS fournit à travers son site des détails succinctes et à la portée de tout le monde sur ses services.

5.1.2 Microsoft Azure

- Simplicité et fiabilité de la transition vers le Cloud pour les nombreuses entreprises qui utilisent déjà les produits Microsoft sur le site : les produits Cloud sont étroitement intégrés avec leurs versions sur site, le passage au nuage est donc facilité ;
- Conformité aux différents règlements en vigueur sur la protection des données. Par exemple, Azure est le premier fournisseur de Cloud public à recevoir la certification FedRAMP aux Etats-Unis, ou celle d'Hébergeur de données de Santé en France. Cette dernière lui confère le droit de stocker des données de santé sensibles sur ses serveurs ;
- Premier rang dans les outils de développement et de test ;
- Le modèle de déploiement hybride.

5.1.3 GCP

- Expertise dans le DevOps (qui est le futur de l'industrie) ;
- Flexibilité des contrats et des remises ;
- Sécurité : **infrastructure Cloud protégée par plus de 700 experts.**
- Coûts moins chers : Selon Google, les tarifs de la plateforme sont en moyenne 60% inférieurs à ceux des autres fournisseurs ;
- Solution performante pour les données et l'analyse ;
- Désigné spécifiquement pour le business basé sur le Cloud ;
- Infrastructure évolutive ;
- Réseau backbone de centres de données composé de milliers de kilomètres de câbles à fibre optique combinés à une solution de mise en réseau avancée et à des services de cache en périphérie pour offrir des performances extrêmes.

5.2 Inconvénients

5.2.1 AWS

La multitude des services et options proposés par AWS vient avec ses inconvénients :

- Choix extrêmement difficile et accablant pour le client ;
- Gestion de coût mauvaise : produits chers par rapport à Azure et GCP pour des services très similaires.

5.2.2 Microsoft Azure

- Faibles outils de gestion (ce qui se voit clairement à travers l'énorme temps d'arrêt que le serveur a subi en 2014) ;
- Expérience limitée avec les entreprises.

5.2.3 GCP

- Dernier serveur entre les trois mentionnés à avoir entré au marché de l'IaaS ;
- Moins de Data Centers dans le monde (et donc moins de zones de disponibilité) ;
- Moins de services et de fonctionnalités.

5.2.4 Temps d'arrêt

Notons que les trois protagonistes ont subi quelques temps d'arrêt au fil des années. Le temps d'arrêt maximum auquel AWS a fait face était en 2014 et a duré 3 heures et 9 minutes où tous les services de la plateforme étaient indisponibles. En revanche, GCP a eu un temps d'arrêt maximum de 14 minutes (en 2014 également). Azure, de son côté, a fait face à une immobilisation de 40 heures et 17 minutes en 2014 où le serveur a connu 500 erreurs internes ! GCP a fait donc preuve d'une réactivité et agilité énormes, quant à Azure, il a pris un temps de réponse énorme.

5.3 Lequel choisir ?

Bien qu'AWS soit un pionnier consistant dans le domaine et qu'il ait plus d'expertise et une infrastructure plus mature, Azure et GCP ont plusieurs avantages (ex : la vitesse de performance et la flexibilité des coûts de Google). Pourtant Microsoft Azure se trouve tout de même limité quant à son expérience avec les entreprises.

Google Cloud Platform se trouve certes en 3^{ème} rang après AWS et Microsoft Azure. Toutefois, le rythme avancé de son expansion au fil des années est prometteur : il est fort probable qu'il dépasse ses adversaires, chose qui rend notre choix plus difficile.

Le choix le plus judicieux dans ce cas est le multi-cloud. Ceci offre plus d'options et à moindre coût : En instance, malgré l'avancée des services du GCP, la base de données relationnelle qu'il offre (SQL Database) limite les actions et les choix de langages SQL utilisés : ne fonctionne qu'avec MySQL et PostgreSQL et n'offre pas d'adaptation de langage automatique contrairement à RDS d'Amazon ; en revanche, le serveur applicatif Google Compute Engine est plus rapide que EC2.

Au niveau de la transition entre les services, les fournisseurs commencent à se rendre compte de l'importance du multi-Cloud et à faciliter donc la transition : en instance Google a récemment acquis Orbitera, une plateforme prenant en charge le commerce multi-cloud. Et dans le cas d'Azure par exemple, l'une des fonctionnalités des passerelles auto-hébergées d'Azure est d'étendre la prise en charge de la Gestion des API pour les environnements multi-cloud.

¹ Serveurs : Les serveurs sont des ordinateurs conçus pour traiter un volume élevé de tâches spécifiques afin de permettre aux autres ordinateurs (ordinateurs portables et ordinateurs de bureau, par exemple) d'effectuer diverses autres tâches.

² namespace : permet la personnalisation et l'apparence que chaque instance du conteneur a son propre os.

³ cgroups : responsables de la surveillance et du comptage de nos ressources pour nous assurer que nous ne taxons jamais notre système avec des conteneurs, nous limitons la quantité de ressources auxquelles ils accèdent, surveillons ce que c'est et pouvons contrôler ce que nous permettons exactement à chaque conteneur de contrôler, nous avons donc un contrôle granulaire sur les ressources qui circulent vers nos conteneurs).

⁴ Version Bêta : Bêta est la phase de développement logiciel qui suit *alpha* (qui est la première phase de développement concret du logiciel après le codage de l'application, Une version alpha n'est pas censée être accessible à un large public : c'est une version interne). Le *bêta-test* est donc la deuxième période d'essai d'un produit informatique avant sa publication. Un produit en période de *bêta-test* est généralement soumis à un nombre important ou représentatif d'utilisateurs : les bêta-testeurs.

6 Bibliographie

<https://www.lebigdata.fr/definition-cloud-computing>

<https://hellofuture.orange.com>

<https://redhat.com>

<https://azure.microsoft.com/fr-fr/overview>

<https://searchnetworking.techtarget.com/>

https://www.researchgate.net/profile/Patricia_Endo/publication/288881275_A_survey_on_opensource_cloud_computing_solutions/links/588b7b20aca272fa50dda6e2/A-survey-on-opensource-cloud-computing-solutions.pdf

<https://www.lebigdata.fr/amazon-cloud-amazon-web-services#:~:text=Le%20Cloud%20AWS%20est%20une,le%20d%C3%A9veloppement%20de%20jeux%20vid%C3%A9o>

<https://aws.amazon.com/>

<https://cloud.google.com/>

<https://www.hebergeurcloud.com/>

[Actualité technologique et scientifique \(techno-science.net\)](#)