

Cloud Computing : services informatiques
dynamiques basés sur le Web
- Concepts et notions de base -

REGUIEG Hicham

17 décembre 2020

Préface

Ce polycopié est le support écrit du cours "*Cloud Computing*" assigné aux étudiants de première année Master de la spécialité "*Système d'Information et Données*" au département informatique à l'université des Sciences et de la Technologie d'Oran. Ce cours s'adresse aux étudiants universitaires comme il peut s'adresser aux ingénieurs en IT ou chef d'entreprise (PME) afin de découvrir ce que le *Cloud* peut apporter à leurs business.

Ce cours décrit les principes fondamentaux du *Cloud Computing* : définition, caractéristiques, modèle de déploiement, modèles de service, architecture et les technologies supportant et pilotant le *Cloud*. Il permettra à l'étudiant d'assimiler les concepts fondamentaux du *Cloud*, d'acquérir des connaissances solides de son écosystème. L'étudiant se familiarisera avec les différents modèles du *Cloud* ainsi que les plateformes les plus utilisées. Il prendra connaissance des bonnes stratégies de migration vers le *Cloud*.

Même si chacune de ces notions ne sera pas vue d'une manière exhaustive, ce cours a pour objectif de mettre l'étudiant à jours sur cette technologie. En outre, il peut servir de référence minimale pour ceux qui aspirent à devenir des professionnels IT. Ce cours ne nécessite aucune connaissance préalable du contexte technologique.

Ce polycopié se focalise sur la présentation théorique des concepts du modèle *Cloud Computing*. Cependant, il est enrichi par des travaux pratiques (TPs) permettant à l'étudiant d'acquérir des connaissances (savoir faire) et de maîtriser quelques technologies principales su *Cloud Computing* tels que la *Virtualisation* et les *Web Services*.

Table des matières

| | | |
|----------|--|-----------|
| 1 | Introduction | 1 |
| 2 | Introduction au Cloud Computing | 5 |
| 2.0.1 | Historique | 6 |
| 2.0.2 | Contexte | 7 |
| 2.1 | Définitions | 7 |
| 2.1.1 | Caractéristiques du cloud computing | 9 |
| 2.1.2 | Modèles de services | 10 |
| 2.1.3 | Modèles de déploiement | 10 |
| 2.2 | Exigences du cloud | 11 |
| 2.3 | Avantages et inconvénients | 13 |
| 2.3.1 | Avantages | 13 |
| 2.3.2 | Inconvénients | 13 |
| 2.4 | Conclusion | 13 |
| 3 | Écosystème, Architecture, Anatomie et management du Cloud | 15 |
| 3.1 | Cloud Écosystème | 16 |
| 3.2 | Architecture du Cloud | 16 |
| 3.2.1 | Couche 1 (Utilisateur/Couche Client) | 16 |
| 3.2.2 | Couche 2 (Couche Réseau) | 17 |
| 3.2.3 | Couche 3 (Couche de gestion/contrôle) | 18 |
| 3.2.4 | Couche 4 (Couche Physique) | 18 |
| 3.3 | Anatomie du Cloud | 18 |
| 3.4 | Gestion du Cloud | 19 |
| 3.4.1 | Gestion de l'infrastructure | 20 |
| 3.4.2 | Gestion des applications | 20 |
| 3.5 | Migration des application vers le cloud | 20 |
| 3.5.1 | Application autonome | 21 |
| 3.5.2 | Application web | 21 |
| 3.5.3 | Application cloud | 22 |
| 3.5.4 | Phases de migration | 22 |

| | | |
|----------|--|-----------|
| 3.5.5 | Approche de la migration | 23 |
| 3.6 | Conclusion | 24 |
| 4 | Les modèles de déploiement et de services dans le Cloud | 25 |
| 4.1 | Introduction | 26 |
| 4.2 | Modèles de déploiement | 26 |
| 4.2.1 | Cloud Privé (Private cloud) | 27 |
| 4.2.2 | Cloud Public (Public cloud) | 28 |
| 4.2.3 | Cloud Communautaire | 30 |
| 4.2.4 | Cloud Hybride | 32 |
| 4.3 | Modèles de service | 34 |
| 4.3.1 | Infrastructure as a Service (IaaS) | 35 |
| 4.3.2 | Platform as a Service (PaaS) | 38 |
| 4.3.3 | Software as a Service (SaaS) | 41 |
| 4.4 | Conclusion | 45 |
| 5 | Les technologies pilotes du Cloud Computing | 47 |
| 5.1 | Introduction | 48 |
| 5.2 | SOA et Services Web | 48 |
| 5.2.1 | Propriétés du SOA | 49 |
| 5.2.2 | Avantages | 49 |
| 5.3 | La technologie multi-cœurs | 50 |
| 5.4 | La technologie de mémoire et de stockage | 50 |
| 5.4.1 | Exigences du stockage cloud | 50 |
| 5.5 | Les technologies de réseau | 51 |
| 5.6 | La virtualisation | 52 |
| 5.6.1 | Hyperviseurs | 53 |
| 5.6.2 | Virtualisation des ressources | 54 |
| 5.6.3 | Types de virtualisation | 57 |
| 5.6.4 | Avantage de la virtualisation | 59 |
| 5.7 | Migration des machines virtuelles VMs | 60 |
| 5.7.1 | Techniques de migration | 60 |
| 5.7.2 | Migration à froid (STOP and COPY migration) | 60 |
| 5.7.3 | Migration à chaud (LIVE migration) | 61 |
| 5.8 | Conclusion | 65 |

| | |
|--------------------|---|
| Table des matières | 5 |
|--------------------|---|

| | |
|------------------------------|-----------|
| 6 Conclusion générale | 67 |
|------------------------------|-----------|

Introduction

Le Cloud Computing est un mot à la mode (Buzz Word) dans les technologies de l'information (IT) d'aujourd'hui auquel personne ne peut échapper. Mais qu'est-ce qui se cache vraiment derrière ? Il existe de nombreuses interprétations de ce terme, mais aucune définition normalisée ni même uniforme. Le cloud computing favorise la fourniture et l'utilisation d'infrastructures informatiques, de plates-formes et d'applications de toute nature sous la forme de services disponibles électroniquement sur le Web. Le terme cloud fait allusion au fait que ces services sont fournis par un fournisseur sur Internet (ou sur l'intranet d'une organisation plus grande). Les utilisateurs de services cloud, en revanche, peuvent proposer leurs propres offres en tant que services sur Internet ou sur un intranet.

Généralement, les ressources en Cloud sont virtualisées : De cette façon, les utilisateurs du Cloud ont toujours la vue souhaitée et nécessaire sur leur infrastructure et leurs applications ne sont pas soumis à des dépendances systémiques ou contraintes.

De plus, les services Cloud peuvent être mis à l'échelle de manière dynamique : si une application nécessite des ressources supplémentaires, celles-ci peuvent être ajoutées immédiatement et sans trop d'effort par un processus automatique. Ainsi, les développeurs d'applications Web ayant des idées innovantes n'ont pas à investir massivement dans de nouveaux matériels lors de la création d'une entreprise. Ils peuvent obtenir les ressources nécessaires de manière flexible auprès d'un fournisseur tout en se concentrant sur leur idée d'entreprise. Avec une demande croissante, l'infrastructure peut être adaptée automatiquement aux exigences étendues.

Le cloud computing adopte le model *pay-as-you-use* payer ce que vous utiliser. Le nombre requis de ressources mis à disposition doit être payé. Pour les ressources inutilisées, rien ne sera facturé. Le Cloud a donc une importance économique car, en raison de sa flexibilité dans l'approvisionnement et l'utilisation de ses services, des économies considérables sont possibles. Le cloud fournira des capacités permettront de créer des économies d'échelle avec un rapport qualité-prix très favorable.

Entre-temps, plusieurs fournisseurs commerciaux, comme Amazon, Google ou Microsoft, se sont impliqués dans ce domaine. Cependant, leurs offres sont de différents types :

Amazon propose des ressources virtualisées à usage générique tandis que les cloud fournis par Google et Microsoft permettent l'hébergement d'applications. Chaque fournisseur recherchant un avantage concurrentiel, toutes les offres actuelles sont en effet propriétaires et il n'y a pas de normes, de sorte qu'en général, un changement rapide de fournisseur n'est pas une tâche facile.

Les critiques du Cloud Computing aiment alléguer ce danger de blocage des fournisseurs en plus des problèmes de sécurité possibles. Les responsables informatiques et les chefs de département, principalement établis, prônent la prudence. Mais un examen plus attentif révèle que ces arguments semblent très souvent viser à défendre leurs droits acquis «hérités» dans les centres de données classiques. Pour cette raison, la plupart des jeunes entreprises (startups) qui ne souffrent pas de ces dépendances profitent de cette nouvelle technologie. Mais il existe également des entreprises établies qui ont abordé le sujet du cloud computing et peuvent déjà se targuer d'une augmentation durable de l'efficacité grâce à son utilisation. En plus de profiter des clouds publics, les entreprises s'appuient de plus en plus sur leurs propres clouds privés.

Ce cours discute les éléments essentiels du cloud computing d'une manière adaptée aux débutants ainsi qu'aux praticiens qui ont besoin de connaître ou d'en savoir plus sur le cloud computing. Il est composé de 4 chapitre principaux.

Pour commencer, le chapitre 2 vise à donner une introduction de base et discute des concepts fondamentaux du cloud. Il inclue l'historique et le contexte, quelques définitions et la définition standardisé du NIST, les principes et les exigences d'un Cloud Computing.

Chapitre 3, donne une introduction aux technologies du Cloud Computing. Il inclue les concepts de base tel que l'écosystème, l'architecture et l'anatomie du Cloud, la gestion du cloud (hardware et applications), et la migration des applications vers le Cloud.

Chapitre 4, discute en détail les modèles de déploiement et les modèles de service du Cloud Computing. Commenant par présenter les modèles de déploiement privé, publique, communautaire et hybride. Leurs applications, leur utilisation et leur conception sont également discutées, ce qui donne une image claire et facilite un choix approprié de modèles de déploiement. Ensuite, les modèles de services cloud IaaS (*Infrastructure as a Service*), PaaS (*Platform as a Service*) et SaaS (*Service as a Service*) sont aussi discuté. Ce chapitre terminera par présenté l'idée des propriétés, de l'architecture et de l'application de ces modèles de service cloud.

Le dernier chapitre 5, discute les technologies support du Cloud Computing. Il couvre

les technologies suivante : SOA et Web Services, la technologie de processeur multi-cœurs, la virtualisation et l'hyperviseur. Ce chapitre donne une vue globale de la façon dont ces technologies sont liées au cloud et leurs contribution au succès du Cloud Computing.

Introduction au Cloud Computing

Sommaire

| | | |
|------------|---|-----------|
| 2.0.1 | Historique | 6 |
| 2.0.2 | Contexte | 7 |
| 2.1 | Définitions | 7 |
| 2.1.1 | Caractéristiques du cloud computing | 9 |
| 2.1.2 | Modèles de services | 10 |
| 2.1.3 | Modèles de déploiement | 10 |
| 2.2 | Exigences du cloud | 11 |
| 2.3 | Avantages et inconvénients | 13 |
| 2.3.1 | Avantages | 13 |
| 2.3.2 | Inconvénients | 13 |
| 2.4 | Conclusion | 13 |

2.0.1 Historique

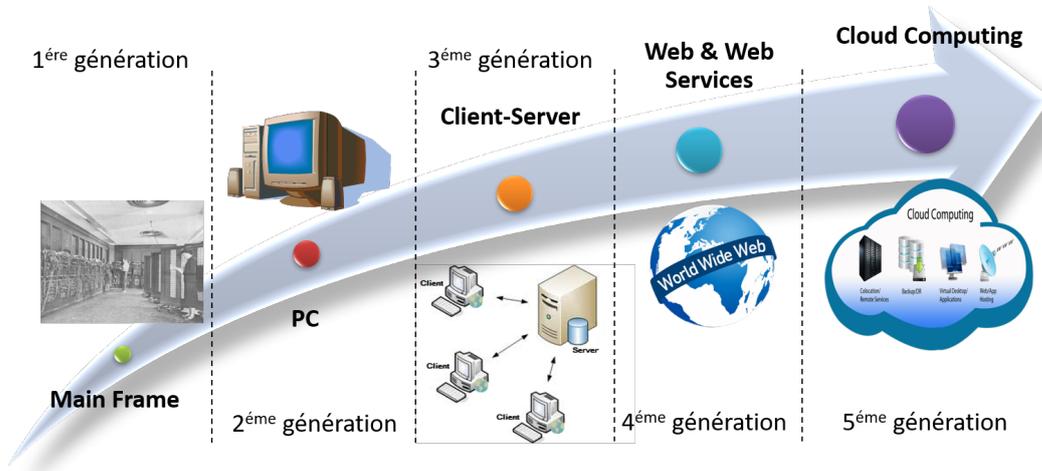


FIGURE 2.1: Historiques et générations de l'informatique

La figure 2.1 illustre l'évolution et les générations de l'informatique. Plus précisément, on parle de l'hébergement des applications.

- **1^{re} génération (MainFrame)** : Le terme se référait à l'origine aux grandes armoires qui abritaient l'unité centrale de traitement et la mémoire principale des premiers ordinateurs. Ces architectures de système ont été établies dans les années 1960, mais continuent d'évoluer. Les applications sont installées sur un ordinateur de grande puissance de traitement et qui sert d'unité centrale à un réseau de terminaux.
- **2^{me} génération (PC)** : Apparu en 1970s, l'utilisateur installe/accède ses applications directement sur son PC sans avoir besoin d'une tiers partie (réseau ou serveur).
- **3^{me} génération (Client-Serveur)** : Dans ce type d'architecture, l'application est divisée en 2 entités : (1) le fournisseur de service appelé *Serveur* et le consommateur de service appelé *Client*. Les deux entités doivent être connectées par un réseau.
- **4^{me} génération (www)** : Le web permet d'héberger des applications (dites applications web) sur des serveurs distants. Ces applications peuvent être accédées via le réseau internet en utilisant un navigateur.
- **5^{me} génération (cloud computing)** : Apparu au début du 21^{me} siècle, il consiste

à utiliser des serveurs informatiques distants par l'intermédiaire d'un réseau, généralement Internet, pour héberger/fournir des application. Ces serveurs sont loués à la demande, le plus souvent par tranche d'utilisation, selon des critères techniques (puissance, bande passante, etc.).

2.0.2 Contexte

La figure 2.2 montre la consommation journalière moyenne des ressources informatique dans une entreprise. On voit clairement que ces ressources ne sont pas exploitées entièrement. En effet, l'entreprise dépense son argent sur des actifs physiques qu'on utilise à leur capacité maximale occasionnellement.

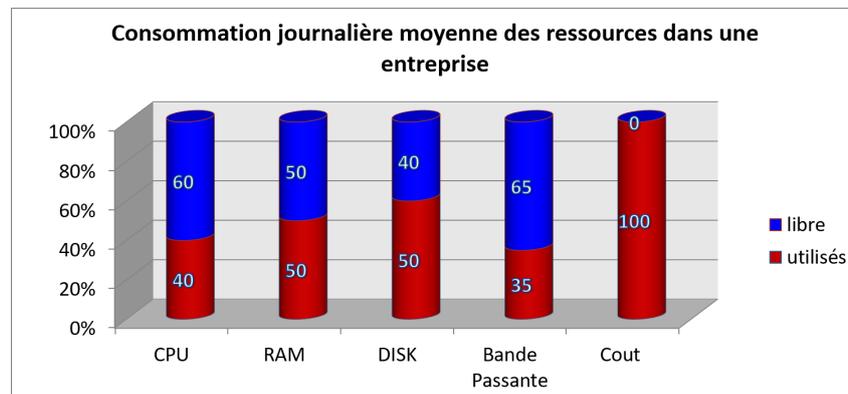


FIGURE 2.2: Consommation journalière des ressources informatique.

Si l'entreprise ne paye que les ressources informatiques qu'elle utilise ?

- ✓ Elle n'aurait plus s'investir dans l'achat de matériel.
- ✓ Elle passe de dépenses en capital (CapEx) à dépenses de fonctionnement(OpEx).
- ✓ Elle n'a plu qu'a recourir à un fournisseur de service en se basant sur le modèle (pay-as-you-use) ⇒ cloud computing.

2.1 Définitions

Definition 2.1.1 *By using virtualized computing and storage resources and modern Web technologies, cloud computing provides scalable, network-centric, abstracted IT infrastructures, platforms, and applications as on-demand services. These services are billed on a*

*usage basis*¹.

Definition 2.1.2 *Le cloud est un service de location de ressources informatiques par une organisation ou un individu et de payer seulement pour les ressources utilisées*².

D'autres définition ont été proposé pour le cloud par exemple :

- Le cloud computing correspond à l'élimination d'investissements dans les infrastructures informatiques sans compromettre la productivité de l'entreprise.
- Le cloud permet d'économiser de l'argent.
- Si une ressource informatique est endommagée ou perdue, les données enregistrées sont sauvegardées sur le serveur du fournisseur de cloud.
- Les données et applications sont accessibles depuis n'importe quel équipement connectée à internet.

Définition standard Plusieurs définitions ont été proposées pour définir le cloud qui à causé une ambiguïté pour comprendre c'est quoi le cloud. Par conséquent, plusieurs fournisseurs de services affirment proposer un service cloud alors que ce n'est pas le cas comme par exemple : l'hébergement des sites internet.

Pour cet effet, Le NIST³ a publié une définition du cloud en 2009, puis une mise à jour de la définition en 2011.

Selon le NIST le cloud est :

Definition 2.1.3 *cloud computing is a model for enabling ubiquitous, convenient, on-demand network access to a shared pool of configurable computing resources (e.g., networks, servers, storage, applications, and services) that can be rapidly provisioned and released with minimal management effort or service provider interaction. This cloud model is composed of five essential characteristics, three service models, and four deployment models.*

Cette définition est utilisée par l'IEEE (Institute of Electrical and Electronics Engineers) et l'ISO (The International Organization for Standardization). Elle spécifie :

- 5 caractéristiques essentielle du cloud.
- 3 modèles de services différents.
- 4 modèles de déploiement différents.

1. Christian Baun, cloud computing : Web-based Dynamic IT Services, livre, 2011.

2. K Chandrasekaran, Essentials of cloud computing, CRC Press, 2014.

3. Laboratoire National Institute of Standards and Technology aux USA.

2.1.1 Caractéristiques du cloud computing

Le cloud a 5 caractéristiques essentielles qui sont illustrées dans la figure 2.3. Si une de ces caractéristiques est absente alors ce n'est pas le cloud :



FIGURE 2.3: Caractéristiques du cloud computing

1. *On-demand self-service* : libre service à la demande, l'utilisateur peut s'approvisionner des services, tel que serveur de calcul ou stockage réseau, au besoin automatiquement sans aucune interaction humaine avec le fournisseur du service.
2. *Broad network access* : Accessible à sur l'ensemble du réseau, les ressources/services sont disponible sur le réseau (local/internet) grâce à des mécanismes standards.
3. *Elastic resource pooling* : ressources mutualisés, les ressources sont partagées pour permettre la fourniture des services en parallèle à plusieurs utilisateurs (multi-tenant model). Ces ressources virtuelles/physiques sont assignées dynamiquement suivant le besoin de l'utilisateur.
4. *Scalable and Elasticity* : Les ressources sont rapidement approvisionnées ou libérées en diverses quantités afin que les systèmes puissent mise à l'échelle selon les besoins. Pour le consommateur, les ressources semblent être illimitées
5. *Measured service* : Service mesurable, L'utilisation des ressources peut être surveillée, contrôlée et signalée, ce qui assure la transparence pour le fournisseur et le consommateur du service utilisé.

2.1.2 Modèles de services

Le NIST identifie 3 modèles de services proposés par les fournisseurs du cloud.

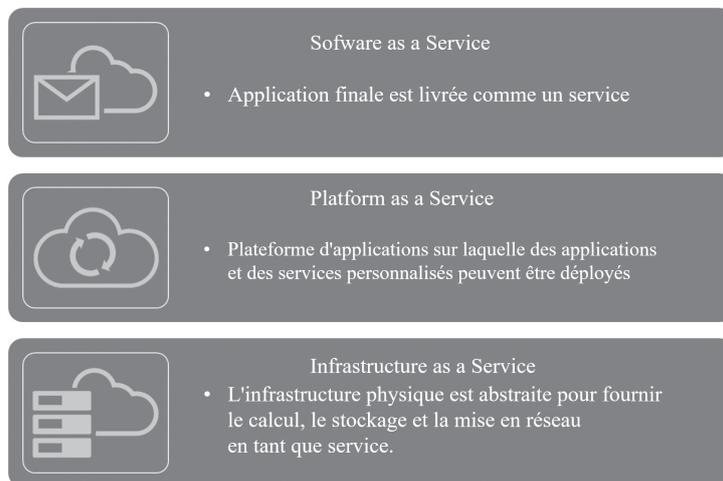


FIGURE 2.4: Les modèles de services du cloud computing

1. *cloud Software as a Service (SaaS)* : Permet aux consommateurs d'utiliser des applications qui se trouvent dans le cloud. Les applications sont accessibles depuis n'importe quel appareil connecté à internet.
2. *cloud Platform as a Service (PaaS)* : Les services fournis sur la couche PaaS sont destinés aux développeurs. Ces services sont des environnements de programmation ou d'exécution où un logiciel (programme) propriétaire écrit dans un langage de programmation spécifique peut être exécuté. Dans ce modèle, l'utilisateur n'a pas de contrôle sur l'infrastructure.
3. *Infrastructure as a Service (IaaS)* : Ce modèle donne aux utilisateurs une vue abstraite sur le matériel i.e., processeurs, mémoire, systèmes de stockage, réseaux. Il permet aux utilisateurs d'avoir le contrôle sur l'ensemble des ressources allouées, exemple : Création et suppression des instances de machine, démarrage et arrêt des OS, définition des topologies réseaux.

2.1.3 Modèles de déploiement

Le modèle de déploiement fait une distinction basée sur la mesure dans laquelle les unités organisationnelles des utilisateurs et des fournisseurs sont séparées les unes des autres.

On distingue 4 modèles de déploiement :

1. *cloud Public* : Aussi appelé cloud Externe. Il comprend toutes les offres cloud où les fournisseurs et les utilisateurs potentiels n'appartiennent pas à la même unité organisationnelle. Dans ce modèle, les fournisseurs rendent leur cloud accessible au public et proposent généralement un portail Web en libre-service
2. *cloud Privé* : Aussi Appelé cloud Interne. Les Fournisseurs et utilisateurs appartiennent à la même unité organisationnelle (Entreprise, université, gouvernement ? etc). Dans ce modèle, le contrôle sur les données reste avec les utilisateurs ou leur organisation.
3. *cloud Communautaire* : Ce cloud est partagé par plusieurs organisations regroupées au sein d'une communauté. Cette communauté a des intérêts communs (réglementaire, sécurité des données). Ce cloud peut être géré par les organisations ou un tiers.
4. *cloud Hybride* : L'infrastructure cloud est une composition de deux ou plusieurs infrastructures cloud distinctes (privées, communautaires ou publiques) qui restent des entités uniques mais sont liées par une technologie standardisée ou propriétaire qui permet la portabilité des données et des applications (par exemple, l'éclatement du cloud pour l'équilibrage de charge entre les clouds.

2.2 Exigences du cloud

Un fournisseur du cloud doit respecter certaines exigences pour que son service soit considéré comme un service cloud, parmi ces exigence on trouve :

1. **Multitenancy (location multiple)** : c'est une caractéristique essentielle des systèmes cloud visant à isoler les différents utilisateurs du système cloud (tenant) tout en maximisant le partage des ressources. Pour une application, multitenancy correspond au fait qu'une seule instance de l'application satisfait plusieurs utilisateurs.
2. **Service Life Cycle Management (Gestion du Cycle de vie du service)** : Les services cloud sont payés selon l'utilisation et peuvent être démarrés et arrêtés à tout moment. Par conséquent, il est nécessaire qu'un service cloud prenne en charge l'approvisionnement automatique des services. De plus, la facturation et le

règlement de la facturation doivent être fournis pour les services qui sont créés, modifiés et publiés de manière dynamique dans des environnements virtuels.

3. **Sécurité** : La sécurité doit être assurée pour les services. De plus, la sécurité de l'infrastructure doit également être assurée en appliquant un contrôle strict des ressources allouées à l'utilisateur.
4. **Responsiveness (Réactivité)** : Le fournisseur du cloud doit permettre une détection, un diagnostic et une solution rapide en cas d'incidents ou de panne dans l'infrastructure.
5. **Un déploiement de service intelligent** : Le fournisseur doit déployer les services de manière efficace. Aussi, Il doit maximiser le nombre de services déployé tout en respectant les engagements pris avec les clients.
6. **Portabilité** : Les services proposés par le fournisseur du cloud doivent être portable vers d'autre infrastructure en cas de besoin.
7. **Interopérabilité** : Le fournisseur doit mettre en œuvre des procédés pour permettre aux systèmes hétérogènes dans les environnements cloud de fonctionner ensemble.
8. **Qualité de service (QoS)** : Les services fournis doivent être disponible et fiable à tout moment.
9. **Accès au service** : Les utilisateurs doivent être capable d'accéder au services depuis n'importe quel équipement connecté a internet (pc, tablette ou smart phone).
10. **Respect de la législation** : Toutes les réglementations applicables doivent être respectées, y compris la protection de la vie privée.
11. **Flexibilité** : Il est prévu que le service cloud soit capable de prendre en charge plusieurs modèles de déploiement cloud et catégories de services cloud
12. **Traitement des données massives** : Il est prévu qu'un cloud prenne en charge des mécanismes de traitement massif de données (par exemple, l'extraction, la transformation et le chargement de données). Il convient de noter dans ce contexte que des systèmes de traitement distribués et/ou parallèles seront utilisés dans les déploiements d'infrastructure cloud pour fournir des capacités de stockage et de traitement de données intégrées à grande échelle qui évoluent avec des techniques de tolérance de panne.

2.3 Avantages et inconvénients

2.3.1 Avantages

Parmi les avantages du cloud computing on peut citer :

- L'accessibilité, Les services, les données ou les applications sont accessibles partout et depuis n'importe quels équipements.
- Les ressources sont optimisées pour les besoins de l'application et de l'utilisateur ⇒ pas de pertes de performances.
- La facturation de la consommation permet de faire des économies. Pas besoin d'acquérir du matériel onéreux.
- Scalability ou évolutivité permet d'acquérir automatiquement des ressources supplémentaires au besoin.
- La maintenance de l'infrastructure est déléguée au fournisseur du cloud.

2.3.2 Inconvénients

- Si la connexion internet est perdue, l'accès au cloud n'est plus possible.
- Les données sont accessibles au fournisseur du cloud ⇒ Problème de privacy.
- Les données sont colocalisées avec d'autres utilisateurs ⇒ Problème de sécurité.
- L'utilisateur n'a pas de contrôle sur les ressources physiques déployées par le fournisseur.
- L'utilisateur n'a pas de contrôle sur les versions des systèmes et des logiciels déployés.

2.4 Conclusion

Pour une compréhension claire du cloud computing, il y a certains concepts fondamentaux à connaître. Ce chapitre commence par la motivation du cloud computing et examine brièvement la raison pour laquelle le cloud a été introduit, la nécessité du cloud computing et la définition de base du cloud. Ensuite, il présente la définition standard du cloud computing fournie par le NIST. Le chapitre termine par introduire les exigences, les avantages et les inconvénients du cloud computing.

Écosystème, Architecture, Anatomie et management du Cloud

Sommaire

| | | |
|------------|--|-----------|
| 3.1 | Cloud Écosystème | 16 |
| 3.2 | Architecture du Cloud | 16 |
| 3.2.1 | Couche 1 (Utilisateur/Couche Client) | 16 |
| 3.2.2 | Couche 2 (Couche Réseau) | 17 |
| 3.2.3 | Couche 3 (Couche de gestion/contrôle) | 18 |
| 3.2.4 | Couche 4 (Couche Physique) | 18 |
| 3.3 | Anatomie du Cloud | 18 |
| 3.4 | Gestion du Cloud | 19 |
| 3.4.1 | Gestion de l'infrastructure | 20 |
| 3.4.2 | Gestion des applications | 20 |
| 3.5 | Migration des application vers le cloud | 20 |
| 3.5.1 | Application autonome | 21 |
| 3.5.2 | Application web | 21 |
| 3.5.3 | Application cloud | 22 |
| 3.5.4 | Phases de migration | 22 |
| 3.5.5 | Approche de la migration | 23 |
| 3.6 | Conclusion | 24 |

3.1 Cloud Écosystème

L'écosystème Cloud (illustrer par la figure 3.1) est un terme utilisé pour décrire un système d'un ensemble de composants/entités interdépendants qui travaillent ensemble pour réaliser, supporter ou consommer les services Cloud.

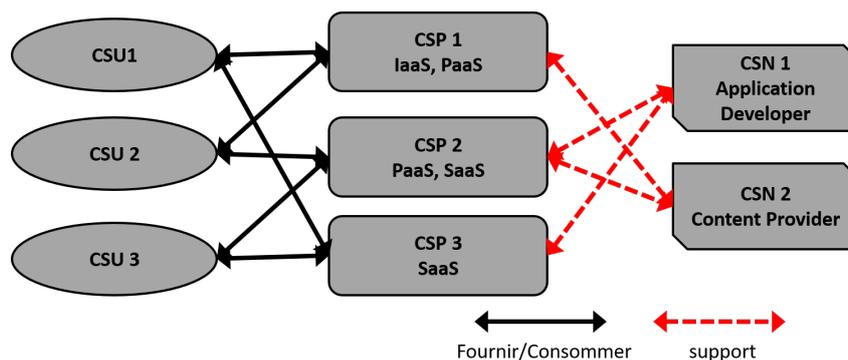


FIGURE 3.1: L'écosystème Cloud computing

1. **Cloud Service Users (CSUs)** : consomme les services Cloud, exemple : personne normale, Entreprise ou gouvernement.
2. **Cloud Service Providers (CSPs)** : fournis/livre et maintient/gère les services Cloud.
3. **Cloud Service Partners (CSNs)** : Une personne ou une organisation (par exemple développeur d'applications, fournisseur de contenu, logiciel, matériel et / ou équipement, intégrateur de système et / ou auditeur) qui fournit un support à la création d'un service offert par un fournisseur CSP (par exemple, intégration de services).

3.2 Architecture du Cloud

Tout modèle technologique consiste en une architecture sur laquelle fonctionne le modèle, qui est une vue hiérarchique de la description de la technologie (voir figure 3.2).

3.2.1 Couche 1 (Utilisateur/Couche Client)

- Cette couche est la dernière de l'architecture.

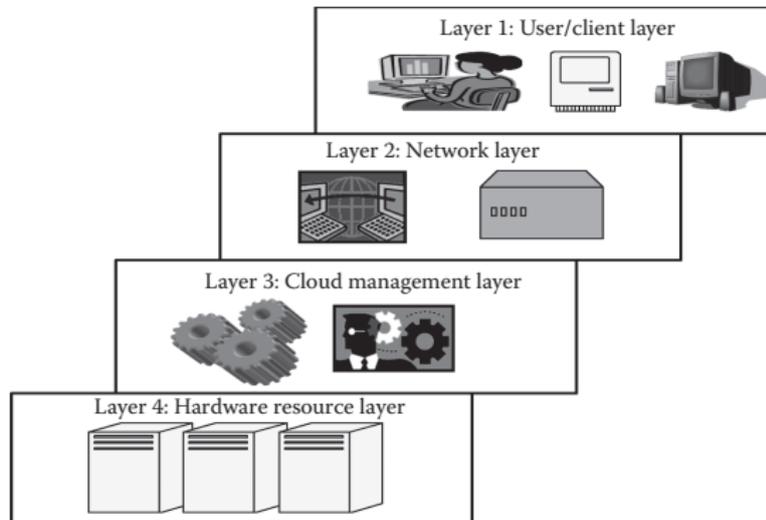


FIGURE 3.2: *L'architecture du Cloud computing*

- Tous les consommateurs/clients appartiennent à cette couche.
- Les clients peuvent être des thin client, thick client ou tout appareil qui supporte les fonctionnalités d'accès au web.
- Le thin client (client léger) est l'appareil qui dépend d'un autre système pour qu'il fonctionne (un terminal ou navigateur web).
- Les thicks clients (client lourd) sont les ordinateurs qui ont une capacité de traitement adéquate

3.2.2 Couche 2 (Couche Réseau)

- C'est la couche qui permet aux utilisateurs de se connecter au Cloud
- Le Cloud est dépendant de cette couche. Si elle n'est pas opérationnelle, le Cloud n'est pas utilisable
- Dans le cas d'un Cloud public, la couche réseau est le réseau internet
- Dans le cas d'un Cloud privé, c'est le réseau local (LAN).
- Le débit minimal pour se connecter est généralement faible
- La qualité de service de cette partie n'est pas incluse dans le SLA du Cloud

3.2.2.1 Service Level Agreement (SLA)

Service level Agreement : accord de niveau de service est un engagement officiel entre le fournisseur de service et le client qui définit le niveau de qualité du service attendu. il inclut des métriques tels que la disponibilité, bande passante, temps de réponse, modalité de paiement et la sécurité.

3.2.3 Couche 3 (Couche de gestion/contrôle)

- Cette couche est constituée de l'ensemble des logiciels dédiés à la gestion des ressources du Cloud.
- Elle joue le rôle d'interface entre le Datacenter (ressources physiques) et le consommateur.
- Permet la gestion/optimization des ressources (ordonnancement, approvisionnement...etc).
- Un des rôles de cette couche est le respect du SLA du service du Cloud. Les violations du SLA engendrent des pénalités pour le fournisseur du Cloud.

3.2.4 Couche 4 (Couche Physique)

- Cette couche est constituée des ressources physiques (Datacenter).
- C'est la couche la plus concernée par le SLA. Elle doit être accessible pour les utilisateurs lorsqu'ils en ont besoin avec des délais respectant le SLA.
- Pour respecter le SLA, le réseau du Datacenter doit supporter le très haut débit pour permettre le transfert de données au sein des différentes ressources physiques.
- Les violations du SLA engendrent des pénalités pour le fournisseur du Cloud.
 - Le datacenter doit avoir un réseau très haut débit.
 - Il doit Implémenter des algorithmes performants pour le transfert des données.

3.3 Anatomie du Cloud

L'anatomie est définie comme étant la structure du cloud. La structure de base du cloud (décrite dans la figure 3.3) est composé de 5 composantes principales :

1. **Application** : c'est la couche ou les applications vont s'exécuter.

2. **Plateforme** : ce composant est constitué de plateformes chargées de l'exécution de des applications.
3. **Infrastructure virtualisée** : c'est les ressources informatiques virtualisées sur lesquelles la plateforme est déployée. Elle fournit des capacités de calcul au client.
4. **Virtualisation** : est le processus d'abstraction des ressources physiques existante en ressources logiques. Ces ressources virtualisées (forment l'infrastructure du cloud) sont indépendantes et isolées.
5. **Hardware** : le hardware physique est fournit par les serveurs et les unités du stockages.

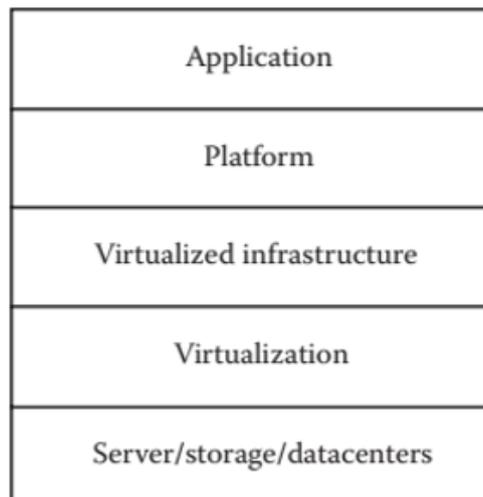


FIGURE 3.3: *Structure du Cloud computing*

3.4 Gestion du Cloud

La gestion/management du cloud a pour but de gérer d'une manière efficace les ressources du cloud afin d'atteindre une qualité de service acceptable et de respecter les SLAs. En effet, la gestion du cloud est la première tâche à considérer car les performances du cloud sont dépendante de la façon dont il est géré.

La gestion du cloud peut être divisée en deux parties :

- Gestion de l'infrastructure du Cloud.

— Gestion des applications du Cloud.

3.4.1 Gestion de l'infrastructure

L'infrastructure du Cloud est considérée comme la colonne vertébrale du Cloud. Cette composante est principalement responsable de la qualité de service (*QoS*) fournie. Dans le cas où l'infrastructure n'est bien gérée, le Cloud entier peut échouer et la qualité de service en serait affectée. Le cœur de la gestion du Cloud est la gestion de ces ressources. Elle implique quelques tâches internes telles que la planification, l'approvisionnement et l'équilibrage de charges.

D'autre part, une mauvaise gestion peut entraîner plusieurs inefficacités en termes de fonctionnalités, coût et de performances. Ce dernier est considéré comme l'aspect le plus important dans le cloud, parce que tout dans le cloud dépend des SLAs et les SLAs ne peuvent être satisfaits que si les performances sont bonnes.

Enfin, la raison pour laquelle le cloud a été développé était le coût. Ce dernier est un critère très important en ce qui concerne les perspectives commerciales du cloud. Si le coût de la gestion des ressources est élevé, le coût d'accès à ces ressources est élevé, alors cela augmentera le prix des services cloud qui peut engendrer une perte de la clientèle.

En plus de ça, il existe d'autres problèmes qui dépendent de la gestion des ressources du cloud comme : la gestion/économie de la consommation d'énergie dans les datacenters.

3.4.2 Gestion des applications

Dans la gestion des applications, le fournisseur collecte et analyse les événements liés à l'exécution de l'application. La gestion des applications inclut également l'identification d'informations critiques qui nécessitent l'ajustement de capacité ou l'approvisionnement de nouveaux services.

3.5 Migration des applications vers le cloud

La migration vers le Cloud consiste à déplacer une ou plusieurs applications de l'entreprise et leurs environnements IT, depuis leur hébergement traditionnel, vers le Cloud (privé, public ou hybride). Elle offre l'opportunité de réduire considérablement les coûts liés aux applications.

Elle comprend les phases suivantes :

1. L'évaluation.
2. La stratégie de migration.
3. Le prototypage.
4. L'approvisionnement.
5. Le test.

Avant de présenter les différent phases de migration nous allons présenter l'évolution des applications informatiques (figure 3.4).

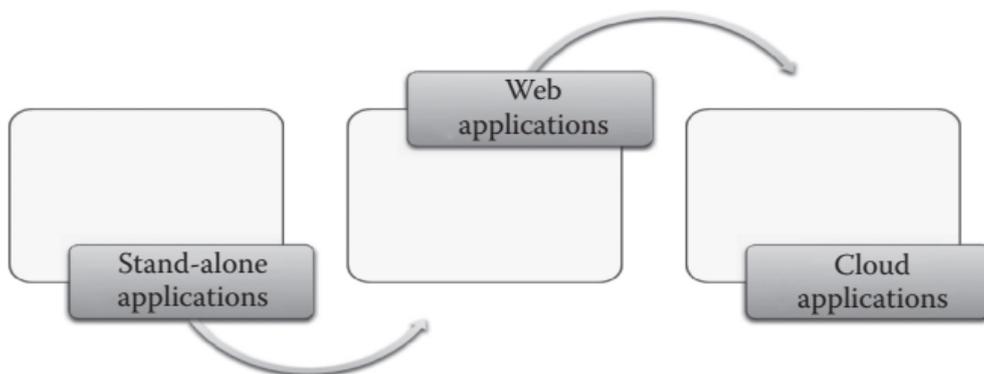


FIGURE 3.4: *Evolution des applications*

3.5.1 Application autonome

- Une application autonome est développée pour fonctionner sur un seul système qui n'utilise pas le réseau pour son fonctionnement.
- Elle utilise seulement la machine dans laquelle elle est installée.
- Elle n'a pas besoin des données ou de la puissance de calcul des autres systèmes ; elle est auto-suffisante (autonome).

3.5.2 Application web

- Cette application est basé sue le modèle client-serveur.
- Elle dépend du réseau pour son fonctionnement.
- Elle est Composée de 2 entités Client et Serveur où Le serveur est une machine puissante dans laquelle l'application est installée.
- Elle est accessible à partir d'autres systèmes clients via le réseau/internet.

Limites

- Elle n'est pas élastique \Rightarrow elle ne peut pas supporter de très lourdes charges.
- Elle n'est pas multi-tenant.
- Elle ne fournit pas une mesure quantitative des services qui sont donnés aux utilisateurs, bien qu'ils puissent surveiller leurs consommation.
- En raison de sa nature non élastique, les transactions de pointe ne peuvent pas être traitées.

3.5.3 Application cloud

- L'application Cloud fait généralement référence à une application SaaS.
- Elle est généralement accessible en tant qu'application Web, mais ses propriétés diffèrent.
- L'application Cloud est caractérisée par :
 - Multi-tenant.
 - Élastique.
 - Service mesuré.
 - Service à la demande.
 - Flexibilité du déploiement.

3.5.4 Phases de migration

3.5.4.1 Évaluation

Une évaluation est effectuée pour toutes les composantes tels que :

- L'infrastructure et l'architecture de l'application,
- Puissance du calcul et de stockage,
- Monitoring (surveillance) et la gestion,
- Les risques et la sécurité,
- SLAs.

afin de construire une analyse de rentabilité pour passer au Cloud.

3.5.4.2 Stratégie de la migration

La stratégie de la migration est établie en se basant sur l'évaluation.

A HotPlug strategy : est utilisé lorsque les applications, leurs données et leurs dépendances sont isolées. Ces applications peuvent être opérationnalisées en une fois.

B Fusion strategy : est utilisé lorsque les applications peuvent être partiellement migrées ; mais pour une partie de celui-ci, il existe des dépendances basées sur des licences existantes, des exigences de serveur spécialisées telles que des mainframes ou des interconnexions étendues avec d'autres applications.

3.5.4.3 Prototypage

L'activité de migration est précédée d'une activité de prototypage pour valider et garantir qu'une petite partie des applications est testée dans l'environnement Cloud avec des données de test.

3.5.4.4 Approvisionnement

- Les serveurs Cloud sont configurés pour tous les environnements identifiés.
- les logiciels et applications de plate-forme nécessaires sont déployés,
- les configurations sont adaptées pour correspondre la dimension du nouveau environnement.
- Les bases de données et les fichiers sont répliqués.

3.5.4.5 Test

Des tests de post-migration sont effectués pour s'assurer que la migration a été réussie. Parmi ces tests on distingue :

- Tests de performances.
- Tests d'échec et de récupération,
- Des tests de scalabilité sont effectués en fonction de la charge de trafic prévue et des niveaux d'utilisation des ressources.

3.5.5 Approche de la migration

Les approches de la migration vers le Cloud les plus adoptées par les fournisseurs du Cloud sont les suivantes :

1. **Migrer des applications existantes** : Reconstruire certaines applications, en profitant de certaines technologies de virtualisation pour accélérer le travail. Mais, elle nécessite un grand travail d'ingénierie pour développer de nouvelles fonctionnalités.
2. **Commencer à partir de zéro** : avec certains environnements de développement plus sophistiqués, on peut réaliser des bonnes applications même avec une petite équipe de travail.
3. **Nouvelle entreprise séparée basé sur le cloud** : On peut vouloir créer une toute nouvelle entreprise avec une marque, une gestion et des ventes distinctes. La société distincte peut même être une filiale de la société existante. Ce qui est important, c'est que la nouvelle entreprise puisse agir, fonctionner et se comporter comme une start-up basée sur le cloud.

3.6 Conclusion

- Le cloud computing a plusieurs concepts qui doivent être compris avant de commencer avec les détails sur le cloud, parmi ces concepts
 - L'architecture du cloud.
 - L'anatomie du cloud.
- La gestion du cloud est l'un des concepts importants qui décrivent la façon dont le cloud est géré, et elle a deux composantes : la gestion de l'infrastructure et la gestion des applications.
- Enfin, une application doit être migrée avec succès vers le cloud. Une application rayonnera ses propriétés complètes en tant que cloud application seulement quand elle est parfaitement migré.

Les modèles de déploiement et de services dans le Cloud

Sommaire

| | | |
|------------|------------------------------------|-----------|
| 4.1 | Introduction | 26 |
| 4.2 | Modèles de déploiement | 26 |
| 4.2.1 | Cloud Privé (Private cloud) | 27 |
| 4.2.2 | Cloud Public (Public cloud) | 28 |
| 4.2.3 | Cloud Communautaire | 30 |
| 4.2.4 | Cloud Hybride | 32 |
| 4.3 | Modèles de service | 34 |
| 4.3.1 | Infrastructure as a Service (IaaS) | 35 |
| 4.3.2 | Platform as a Service (PaaS) | 38 |
| 4.3.3 | Software as a Service (SaaS) | 41 |
| 4.4 | Conclusion | 45 |

4.1 Introduction

Ce chapitre, en premier lieu, décrit de manière générale les modèles de déploiement, un concepts très important, disponibles dans le cloud. Ces modèles représentent les différentes façon dont l'environnement cloud peut être mis en place. En effet, il est important d'avoir une idée des modèles de déploiement, car la mise en place d'un cloud est la condition la plus fondamentale avant de commencer toute autre étude sur le cloud computing. Du point de vue commercial, il est aussi nécessaire de prendre la bonne décision concernant le modèle de déploiement choisi. Ce dernier doit être sélectionné en fonction des besoins, des exigences, du budget et de la sécurité. Une mauvaise décision dans le modèle de déploiement peut affecter fortement l'organisation.

En second lieu, le chapitre présente les différents modèles de prestation de service du cloud. Ces services peuvent être des applications, plateforme de développement ou des ressources de calcul (serveurs). Le chapitre traite également les caractéristiques, l'adéquation, les avantages et les inconvénients des différents modèles de services cloud.

4.2 Modèles de déploiement

Le modèle de déploiement correspond aux moyens/méthodes utilisés pour mettre en place un environnement cloud. Ces modèles sont entièrement centrés sur l'utilisateur, c'est-à-dire qu'ils dépendent des exigences et de la commodité des utilisateurs. Autrement dit, il existe plusieurs utilisateurs du cloud et chaque utilisateur a ces propres besoins et un modèle de déploiement ne conviendra pas à tous ces utilisateurs. Selon le NIST, il existe 4 modèles de déploiements :

1. **Cloud privé (Private cloud)** : est le modèle de déploiement le plus élémentaire pouvant être déployé par une seule organisation pour son usage personnel. Il n'est pas partagé avec d'autres organisations, et il n'est pas autorisé pour un usage public.
2. **Cloud public (Public cloud)** : est le plus grand cloud. Il est ouvert au public et il est accessible depuis n'importe quel endroit dans le monde. Le fournisseur de services de cloud public facture les utilisateurs sur une base horaire.
3. **Cloud communautaire** : Ce modèle représente une extension du cloud privé. Il est partagé par plusieurs organisations qui ont des causes communes.

4. **Cloud hybride** : représente la combinaison de deux ou plusieurs modèles de déploiement.

La classification du cloud est basée sur plusieurs paramètres tels que la taille du cloud (nombre de ressources), le type de fournisseur de services, l'emplacement, le type d'utilisateurs, la sécurité et d'autres problèmes.

Les quatre types de déploiements cloud sont discutés avec plus de détail dans les sections suivantes.

4.2.1 Cloud Privé (Private cloud)

Selon le NIST, le cloud privé est défini comme étant une infrastructure mise à disposition pour un usage exclusif par une organisation. Cette infrastructure peut exister sur ou hors site de l'organisation.

Ce type de cloud peut être détenu, géré et exploité par l'organisation, un tiers ou une combinaison des deux. En plus, il peut être déployé en utilisant des outils open-source (FOSS¹) tels que Openstack² et Eucalyptus³

Le cloud privé est de petite taille par rapport aux autres modèles de cloud. Dans ce cas, le cloud est déployé et maintenu par les organisations elles-mêmes.

4.2.1.1 Caractéristiques

Certains caractéristiques du cloud privé sont les suivantes :

Sécurité : le cloud privé est sécurisé car il est, généralement, déployé et géré par l'organisation. Par conséquent, il y a moins de risques de fuite de données hors du cloud. En plus, tous les utilisateurs appartiennent à la même organisation.

Contrôle centralisé : Tant que l'organisation a le contrôle total sur le cloud, elle n'a pas besoin de quiconque pour gérer le cloud.

Faible SLA : Les SLA formels peuvent ne pas exister dans un cloud privé. Mais s'ils existent, ils sont faible puisque'ils sont entre l'organisation et ses employés. En plus, la qualité du service n'est pas toujours optimale.

1. Free Open Source Software.

2. <https://www.openstack.org/>

3. <https://www.eucalyptus.cloud/>

4.2.1.2 Pertinences

Pertinences signifie les conditions et l'environnement les plus appropriés dans lesquelles ce modèle de cloud peut être utilisé. On peut citer :

- L'organisation dispose des moyens nécessaires (fonds, matériel et local) pour le déploiement du cloud.
- L'organisation dispose d'un personnel qualifié pour la gestion et la maintenance du cloud.
- L'organisation considère que la sécurité des données est importante ou critique.
- L'organisation veut un contrôle complet sur le cloud.

Le cloud privé n'est pas préférable dans les cas suivants :

- L'organisation a des contraintes financières.
- L'organisation ne dispose pas de suffisamment de main-d'œuvre pour maintenir et gérer le cloud.
- L'organisation n'a pas une infrastructure pré-établie.

4.2.1.3 Avantages et inconvénients

Il y a plusieurs avantages et inconvénients d'un cloud privé :

Avantages

- Le cloud est de taille limitée et facile à entretenir.
- Il offre un niveau élevé de sécurité et de confidentialité à l'utilisateur.
- Il est contrôlé par l'organisation

Inconvénients

- Les SLA ne sont pas respectés et le service peut ne pas être optimale.
- Contraintes budgétaires pour les petites entreprises.

4.2.2 Cloud Public (Public cloud)

Selon le NIST, le cloud public est l'infrastructure cloud à usage ouvert pour le grand public. Elle peut être détenue, gérée et exploitée par une entreprise, un établissement universitaire ou un organisme gouvernemental. Cette infrastructure est localisée dans les locaux du fournisseur du cloud (exemple : Google datacenters).

Le cloud public peut servir tout type d'utilisateur. Un utilisateur peut simplement louer des ressources (Serveur, stockage, réseau ou software) sur une base horaire et utiliser ces ressources. Ces ressources sont disponibles dans les locaux du fournisseur de cloud. Généralement, les fournisseurs acceptent toutes les requêtes/demandes des utilisateurs (clients). Par conséquent, l'utilisateur aura l'illusion que ces ressources sont infinies. Parmi les fournisseur du cloud public on trouve *Amazon AWS* et *Microsoft Azure*.

4.2.2.1 Caractéristiques

On peut caractériser le cloud public par :

Évolutive : le cloud public est hautement évolutive et l'approvisionnement des ressources passe à l'échelle rapidement (*High Scalability*). Le fournisseur du cloud doit s'assurer que toutes les demandes sont satisfaites.

Abordable : les services du cloud public sont livrés aux public selon le model pay-as-you-go. Dans ce cas, l'utilisateur doit payer uniquement pour ce qu'il utilise (généralement sur une base horaire). Et cela n'implique aucun coût lié au déploiement.

Moins sécurisé : le cloud public est moins sécurisé par rapport aux autres modèles. En effet, le cloud public est proposé par un tiers et il a un contrôle total sur le cloud. Bien que les SLA garantissent la confidentialité, il existe toujours un risque élevé de fuite de données.

Hautement Disponible : le cloud public est hautement disponible, car n'importe qui dans n'importe ou peut accéder avec des autorisations appropriées, ce qui n'est pas possible dans d'autres modèles car des restrictions d'accès géographiques ou autres peuvent exister.

Strict SLAs : le SLA est très strict dans le cas du cloud public. La réputation commerciale du fournisseur de services dépend totalement du qualité du service. Pour cela, il respecte strictement le SLA et évite toutes type de violation.

4.2.2.2 Pertinences

Le cloud public peut être utilisé chaque fois que les conditions suivantes s'appliquent :

- Les besoins en ressources sont importantes et variables.
- Pas d'infrastructure physique disponible.
- L'entreprise a des contraintes financières.

Par ailleurs, le cloud public ne convient pas, dans les cas suivants :

- La sécurité est importante et les données sont considérées critiques.
- L'organisation souhaite être autonome.
- L'organisation dispose des moyens nécessaire pour la mise en place d'un cloud privé.

4.2.2.3 Avantage et inconvénients

Il y a plusieurs avantages et inconvénients d'un cloud privé :

Avantages

- Il n'est pas nécessaire d'établir/acquérir une infrastructure pour configurer un cloud.
- Pas besoin d'assurer la maintenance du cloud.
- Moins chers par rapport aux autres modèles.
- Respect strict des SLAs.
- Pas de limite sur le nombre des utilisateurs.
- Passe à l'échelle rapidement (High Scalability).

Inconvénients

- Problème de sécurité.
- La confidentialité et l'autonomie organisationnelle ne sont pas possibles.

4.2.3 Cloud Communautaire

Le cloud communautaire, selon le NIST, est l'infrastructure cloud utilisée par une communauté spécifique de consommateurs, ces consommateurs (organisations) partagent les mêmes intérêts. Cette infrastructure peut être gérée par un ou plusieurs organisme de la communauté. Le cloud communautaire est considéré comme une extension du cloud privé partagé entre plusieurs organismes.

L'avantage principale du cloud communautaire est le partage des ressources entre organisations en fonction des préoccupations bien déterminées. Ainsi, ici, les organisations

sont en mesure d'extraire la puissance du cloud, qui est beaucoup plus grande que le cloud privé, et en même temps, elles peuvent l'utiliser à un coût généralement moins élevé. La communauté est formée sur la base d'une cause commune, mais finalement, tous les membres de la communauté en bénéficient.

Ce modèle est bénéfique dans le cas des organisations qui ne peuvent pas se permettre un cloud privé et ne peuvent pas non plus s'appuyer sur le cloud public.

4.2.3.1 Caractéristiques

Le cloud communautaire est caractérisé par :

Maintenance collaborative et distributive : Le cloud communautaire est entièrement collaboratif, et généralement aucune partie n'a le contrôle total sur l'ensemble du cloud. La gestion de ce type de cloud est distributive, et par conséquent, une bonne coopération donne de meilleurs résultats.

Partiellement sécurisé : Partiellement sécurisé fait référence à la propriété du cloud communautaire où peu d'organisations partagent le cloud, il est donc possible que les données puissent être divulguées d'une organisation à une autre, bien qu'elles soient à l'abri du monde extérieur.

Rentable : Le cloud communautaire est rentable car le cloud entier est partagé par plusieurs organisations ou une communauté. Habituellement, non seulement les coûts mais toutes les autres responsabilités partageables sont également partagés ou divisés entre les groupes.

4.2.3.2 Pertinences

Ce type de cloud convient aux organisations qui :

- Souhaite établir un cloud privé mais elle a des contraintes financières.
- Ne veut pas assumer la responsabilité complète de la maintenance et l'entretien du cloud.
- Veut établir un cloud pour collaborer avec d'autres clouds.
- Souhaite avoir un cloud collaboratif avec plus de sécurité que propose le cloud public

En second lieu, ce cloud n'est pas préférable pour les organisations qui :

- Privilégie l'autonomie et le contrôle sur le cloud.
- Ne souhaite pas collaborer avec d'autres organisations.

4.2.3.3 Avantages et inconvénients

Ce qui suit décrit les nombreux avantages et inconvénients du cloud communautaire.

Avantages

- Il permet d'établir un cloud privé avec un coût réduit.
- Il permet un travail collaboratif sur le cloud
- Il permet le partage des responsabilités entre l'organisation.
- Il est plus sécurisé que le cloud public.

Inconvénients

- L'organisation n'est plus autonome.
- Les fonctionnalités de sécurité ne sont pas aussi efficaces que le cloud privé.
- Il ne convient pas s'il n'y a pas de collaboration.

4.2.4 Cloud Hybride

Le dernier modèle de déploiement est le cloud hybride. Selon le NIST, le cloud hybride est défini comme l'infrastructure cloud qui est une composition de deux ou plusieurs infrastructures cloud distinctes (privé, public ou communautaire) qui forment des entités uniques mais sont liées par une technologie standardisée ou propriétaire qui permet la portabilité des données et des applications.

Le cloud hybride est généralement une combinaison de clouds publics et privés. Ceci vise à combiner les avantages des clouds privés et publics. Ces avantages consistent à utiliser la puissance du cloud public tout en gardant les propriétés du cloud privé.

4.2.4.1 Caractéristiques

Le cloud hybride est caractérisé par :

Évolutive (Scalable) : La principale raison d'avoir un cloud hybride est d'utiliser la propriété d'un cloud public avec un environnement de cloud privé. Le cloud public est

utilisé en cas de besoin; par conséquent, comme le cloud public est évolutif, le cloud hybride avec l'aide de son homologue public est également évolutif.

Partiellement sécurisé : Tant que le cloud hybride utilisant, généralement, le cloud public, le risque de violation de la sécurité est élevé. Ainsi, il ne peut pas être entièrement qualifié de sécurisé mais partiellement sécurisé.

Strict SLA : Comme le cloud hybride implique une intervention du cloud public, les SLA sont stricts.

Gestion complexe du cloud : La gestion du cloud est complexe et est une tâche difficile dans le cloud hybride car elle implique plusieurs modèles de déploiement et le nombre d'utilisateurs est également très élevé.

4.2.4.2 Pertinences

L'environnement de cloud hybride convient à :

- Les organisations qui souhaitent un environnement de cloud privé avec l'évolutivité du cloud public
- Les organisations qui nécessitent plus de sécurité.

En second lieu, ce cloud n'est pas préférable pour les organisations qui :

- Considèrent la sécurité comme un objectif prioritaire
- Ne peuvent pas maintenir l'entretien/gestion du cloud hybride

4.2.4.3 Avantages et inconvénients

Ce qui suit décrit les nombreux avantages et inconvénients du cloud communautaire.

Avantages

- Il permet de réunir les avantages du cloud privé et public.
- Il est très évolutive

Inconvénients

- Les fonctionnalités de sécurité ne sont pas aussi bonnes que le cloud public
- La gestion d'un cloud hybride est complexe.

4.3 Modèles de service

Le cloud computing est un modèle qui permet aux utilisateurs finaux d'accéder au pool partagé de ressources telles que le calcul, le réseau, le stockage, la base de données et les applications en tant que service à la demande sans avoir besoin de l'acheter ou de le posséder. Les services sont fournis et gérés par le fournisseur de services, ce qui réduit l'effort de gestion du côté de l'utilisateur final. L'Institut national des normes et de la technologie (NIST) définit trois modèles de services de base, à savoir, IaaS, PaaS et SaaS, comme indiqué sur la figure 4.1.

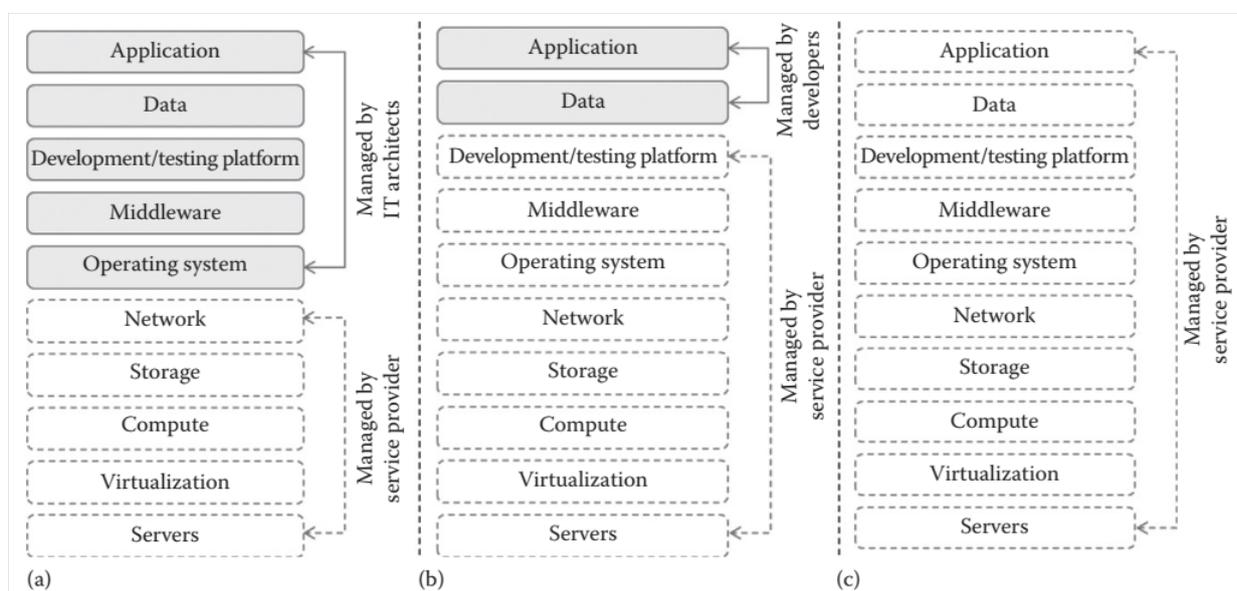


FIGURE 4.1: Responsabilités des utilisateurs et des fournisseurs pour chaque type de modèle de service : (a) IaaS, (b) PaaS, (c) SaaS

Les différents modèles de services cloud ciblent différents publics. Par exemple, le modèle IaaS cible les architectes des technologies de l'information (IT), PaaS cible les développeurs et SaaS cible les utilisateurs finaux. En fonction des services souscrits, la responsabilité du public cible peut varier, comme le montre la figure 4.1. Les modèles de service peuvent être déployés en utilisant n'importe quel modèle de déploiement.

Cette section traite les caractéristiques, la pertinence et les avantages et les inconvénients des différents modèles de services cloud.

4.3.1 Infrastructure as a Service (IaaS)

Dans les centres de données traditionnels, la puissance de calcul est consommé par un accès physique à l'infrastructure. Actuellement, IaaS fournit (en location) des ressources (calcul, stockage et réseau) virtuelles en faisant abstraction des ressources physiques. La technologie de la *virtualisation* (voir section 5.6) est utilisée pour fournir ces ressources. Tout ces ressources sont regroupées en une seule entité qui s'appelle une machine virtuelle (VM). La vm est configurée par le fournisseur de service et livrée au consommateur finale (architecte IT par exemple).

L'utilisateur (architecte IT) contrôler ses ressources en via une interface utilisateurs (web ou CLI⁴). Les fonctions typiques disponibles à partir de l'interface utilisateur incluent la création ou la suppression d'images du système d'exploitation, la mise à l'échelle des capacités (approvisionnement ou libération des ressources) requises ou la définition de topologies de réseau. De plus, l'interface fournit les fonctionnalités requises pour les opérations, telles que le démarrage et l'arrêt des *vm*s.

Dans le modèle de service IaaS, l'utilisateur est responsable de la maintenance de la plateforme de développement et de l'application s'exécutant au-dessus de l'infrastructure virtuelle. Les fournisseurs du service IaaS sont responsables de la maintenance du matériel sous-jacent (serveurs), comme illustré dans la figure 4.1(a). Un fournisseur IaaS peut fournir les services suivants :

Ressources de calcul : Ce service comprend les processeurs (CPUs) et la mémoire principale pour les machines virtuelle.

Stockage : Certains fournisseur fournissent des services de stockage des données distant comme *Amazon S3*.

Réseau : Ce service inclue des composants de réseaux virtuels comme routeur virtuel, le commutateur et le pont pour les machines virtuelles

Équilibreur de charge (Load Balancer) : Ce service fournit une capacité d'équilibrage de charge au niveau de la couche infrastructure.

4. Command Line Interface

4.3.1.1 Caractéristiques du IaaS

Les fournisseurs IaaS offrent aux consommateurs des ressources informatiques virtuelles sur une base de paiement à l'utilisation. En plus des caractéristiques du cloud, l'IaaS a ses propres caractéristiques.

1. *Accès aux ressources via le Web* : le modèle IaaS permet aux utilisateurs d'accéder aux ressources d'infrastructure via Internet. Grâce à n'importe quel navigateur Web ou console de gestion, les utilisateurs peuvent accéder à l'infrastructure requise.
2. *Gestion centralisée* : Les ressources réparties sur différentes parties peuvent être contrôlées à partir de n'importe quelle console de gestion. Cela garantit une gestion efficace des ressources et une utilisation efficace des ressources.
3. *Élasticité et mise à l'échelle dynamique* : L'IaaS fournit des services élastiques où l'utilisation des ressources peut être augmentée ou diminuée en fonction des besoins. Ces besoins dépendent de la charge sur l'application.
4. *Infrastructure partagée* : L'IaaS suit un modèle de livraison un-à-plusieurs et permet à plusieurs utilisateurs de partager la même infrastructure physique. Chaque utilisateur a ses propres VMs.
5. *Machines Virtuelles pré-configurées* : Les fournisseurs IaaS proposent des VM pré-configurées avec des systèmes d'exploitation (OS), une configuration réseau, etc. Les utilisateurs informatiques peuvent sélectionner n'importe quel type de VM de leur choix. Ils peuvent directement commencer à utiliser les VM dès leur inscription aux services.
6. *Services mesurés* : L'IaaS permet aux utilisateurs de louer les ressources au lieu de les acheter. Les services consommés par l'utilisateur seront mesurés et les utilisateurs seront facturés par les fournisseurs en fonction de la consommation.

4.3.1.2 Pertinences des IaaS

L'IaaS réduit le coût total de possession (TCO⁵) et augmente le retour sur investissement (ROI⁶) pour les start-ups qui ne peuvent pas investir davantage dans l'achat d'infrastructures.

L'IaaS peut être utilisé dans les cas suivants :

-
5. total cost of ownership.
 6. return on investment : retour sur l'investissement.

- ***Pics d'utilisation imprévisibles*** : Lorsque la demande est très volatile, nous ne pouvons pas prédire les pics et les creux en termes de demande de l'infrastructure. Dans cette situation, nous ne pouvons pas ajouter ou supprimer des ressources immédiatement en fonction de la demande dans une infrastructure traditionnelle. S'il existe une demande imprévisible d'infrastructures, il est recommandé d'utiliser les services IaaS.
- ***Contraintes d'investissements*** : Les start-ups ne peuvent pas investir davantage dans l'achat d'infrastructures pour leurs besoins commerciaux. Ainsi, en utilisant l'IaaS, les start-ups peuvent réduire l'investissement en capital sur le matériel. L'IaaS est l'option appropriée pour les start-ups qui investissent moins en capital sur le matériel.
- ***Infrastructure à la demande*** : Certaines organisations peuvent avoir besoin d'une grande infrastructure pendant une courte période (exemple : opérateur mobile pendant les période de l'Eid). À cette fin, une organisation ne peut pas se permettre d'acheter davantage de ressources. Au lieu de cela, ils peuvent louer l'infrastructure requise pour une période de temps spécifique.

L'IaaS aide les start-ups à limiter leurs dépenses d'investissement. Bien qu'il soit largement utilisé par les start-ups, il existe certaines situations où l'IaaS n'est peut-être pas la meilleure option. Dans les situations suivantes, les utilisateurs doivent éviter d'utiliser l'IaaS :

- ***Conformité réglementaire ne permet pas l'hébergement hors site de l'organisation*** : Pour certaines entreprises, sa réglementation peut ne pas permettre à l'application et aux données d'être hébergées sur une infrastructure tierce extérieurs.
- ***Utilisation minimale*** : Lorsque l'infrastructure de l'organisation est suffisante et capable de satisfaire les besoins.
- ***Performance*** : Étant donné que les services IaaS sont accessibles via Internet, les performances peuvent parfois ne pas être celles attendues en raison de la latence du réseau.
- ***Besoin d'autonomie*** : Certaines organisations peuvent nécessiter un contrôle physique de l'infrastructure. Les services IaaS étant abstraits en tant que ressources virtuelles, il n'est pas possible d'avoir plus de contrôle sur l'infrastructure physique.

4.3.1.3 Avantages et inconvénients

Étant l'un des modèles de service importants du cloud computing, l'IaaS offre de nombreux avantages aux utilisateurs informatiques. Voici les avantages offerts par l'IaaS :

1. *Le modèle Pay-as-you-go* : Les services IaaS sont livrés aux utilisateurs à la base du modèle pay-as-you-go. Cela garantit que les clients sont tenus de payer pour ce qu'ils ont utilisé. Ce modèle élimine les dépenses inutiles pour l'achat de matériel.
2. *Ressources élastiques* : L'IaaS fournit des ressources en fonction des besoins. Les utilisateurs peuvent augmenter ou réduire les ressources à tout moment.
3. *Réduire le TCO* : Les utilisateurs informatiques peuvent louer l'infrastructure informatique plutôt que de l'acheter. L'IaaS réduit le besoin d'acheter des ressources matérielles et réduit ainsi le TCO.
4. *Écologique*.

Même si l'IaaS offre des avantages liés aux coûts, il ne permet pas de sécuriser les données. Voici les inconvénients du IaaS :

1. *Problème de sécurité* : les fournisseurs du IaaS utilisent les hyperviseurs (voir 5.6.1) pour fournir des machines virtuelles. Il existe de nombreuses attaques qui ciblent les hyperviseurs pour les compromettre. Si les hyperviseurs sont compromis, toutes les machines virtuelles peuvent être attaquées facilement.
2. *Problème d'interopérabilité* : Il n'y a pas de normes standards suivies par les différents fournisseurs IaaS. Il est très difficile de migrer une machine virtuelle d'un fournisseur IaaS à l'autre.
3. *Problème de performance* : La latence du réseau (Internet) joue un rôle important dans les performances du service fourni.

4.3.2 Platform as a Service (PaaS)

PaaS permet aux développeurs de développer leur application en ligne et leur permet également de la déployer immédiatement sur la même plateforme. Les consommateurs ou développeurs PaaS peuvent utiliser des environnements de programmation, des plateformes d'application, des bases de données, des outils de test et des outils de déploiement en tant que service sur Internet. Par conséquent, il réduit la complexité d'achat et de maintenance de différents outils pour développer une application.

Dans PaaS, les utilisateurs sont responsables de la gestion de l'application qu'ils ont développée. L'infrastructure sous-jacente sera maintenue par le fournisseur d'infrastructure, comme le montre la figure 4.1(b). Certains fournisseurs PaaS peuvent fournir les services suivants :

Langages de programmation : Les fournisseurs de PaaS fournissent une grande variété de langages de programmation pour les développeurs. Certains des langages de programmation les plus populaires fournis par les fournisseurs PaaS sont Java, Perl, PHP, Python, Ruby, Scala, Clojure et Go.

Application frameworks : Les fournisseurs de PaaS fournissent des plateformes d'application qui simplifient le développement d'applications. Par exemple : Node.js, Rails, Drupal, Joomla, WordPress, Django, EE6 et Spring.

Base de données : Les bases de données sont livrées aussi par les fournisseurs de PaaS. Parmi les SGBD fournis on peut citer : ClearDB, PostgreSQL, Cloudant, Membase, MongoDB et Redis.

Autres outils : En plus, PaaS fournit les outils nécessaires pour développer, tester et déployer une application.

4.3.2.1 Caractéristiques du PaaS

Voici les caractéristiques essentielles qui rendent le PaaS unique par rapport aux plates-formes de développement traditionnelles :

1. *Tout en un* : La plupart des fournisseurs PaaS offrent des services pour développer, tester, déployer, héberger et maintenir des applications dans le même IDE.
2. *Accès web* : Grâce à l'interface utilisateur Web, tout développeur peut accéder à la plateforme de développement. L'interface utilisateur Web aide les développeurs à créer, modifier, tester et déployer différentes applications sur la même plate-forme.
3. *Accès hors ligne* : Pour permettre le développement hors ligne, certains des fournisseurs PaaS permettent au développeur de synchroniser leur IDE local avec les services PaaS. Les développeurs peuvent développer une application localement et la déployer en ligne chaque fois qu'ils sont connectés à Internet.

4. *Évolutivité intégrée* : Les services PaaS offrent une évolutivité intégrée à une application développée à l'aide de n'importe quel PaaS. Cela garantit que l'application est capable de s'adapter en fonction du besoin (passe à l'échelle).
5. *Plateforme collaborative* : De nos jours, l'équipe de développement est composée de développeurs qui travaillent à différents endroits. La plupart des services PaaS prennent en charge le développement collaboratif.
6. *Variétés des outils Clients* : Pour faciliter le développement, les fournisseurs PaaS fournissent une grande variété d'outils clients pour aider le développeur. Les outils clients incluent CLI, CLI Web, interface utilisateur Web, API REST et IDE.

4.3.2.2 Pertinence des PaaS

La plupart des start-ups de développement SaaS et des éditeurs de logiciels indépendants utilisent largement PaaS pour développer leurs applications. Le modèle PaaS attire également l'attention d'autres sociétés de développement de logiciels traditionnels. PaaS est une option appropriée pour les situations suivantes :

- *Développement collaborative* : Étant donné que les services PaaS fournissent un environnement de développement collaboratif, c'est une option appropriée pour les applications qui nécessitent une collaboration de plusieurs développeurs.
- *Déploiement et test automatisé* : L'équipe de développement doit se concentrer davantage sur le développement plutôt que sur les tests et le déploiement. La plupart des services PaaS offrent des capacités de test et de déploiement automatisées.
- *Commercialisation rapide* : Les services PaaS suivent les méthodologies de développement itératives et incrémentielles qui garantissent que l'application est sur le marché selon le délai imparti.

Même s'il est largement utilisé, il existe certaines situations où le PaaS peut ne pas être la meilleure option :

- *Migration fréquente des applications* : Puisqu'il n'y a pas de normes standards suivies par les fournisseurs PaaS, il est très difficile de migrer l'application d'un fournisseur PaaS vers un autre.
- *Personnalisation au niveau de l'infrastructure* : Certaines plates-formes de développement d'applications nécessitent une configuration ou une personnalisation de l'infrastructure sous-jacente. PaaS ne permet pas à l'utilisateur d'avoir un contrôle sur l'infrastructure.

4.3.2.3 Avantages et inconvénients

L'avantage principale du PaaS est de masquer la complexité de la plateforme et de l'infrastructure. Cela, permet aux développeurs de se focaliser sur l'implémentation des fonctionnalités importantes de leurs applications. En plus de ça, le PaaS peut avoir les avantages suivants :

1. *Développement et déploiement rapide* : La plupart des services PaaS automatisent le processus de test et de déploiement dès que le développeur termine le développement. Cela accélère le développement et le déploiement d'applications.
2. *Développement collaboratif* : Les services PaaS aident les développeurs de différents endroits à travailler ensemble sur le même projet. Cela est possible grâce à la plateforme de développement commune en ligne fournie par les fournisseurs PaaS.
3. *Moins de frais de maintenance* : Dans les Systèmes traditionnels, l'organisation a besoin de recruter des personnels qualifiés pour maintenir l'infrastructure et la pile de logiciels exécutés sur cette infrastructure.

PaaS fournit plusieurs avantages aux développeurs. Par contre, il contient des inconvénients, qui sont décrits ci-dessous :

1. *Vendor lock-in* : La plupart des fournisseurs PaaS utilisent des technologies propriétaires qui ne sont pas compatibles avec les autres fournisseurs PaaS. Par conséquent, la migration des applications d'un vendeur à un autre est impossible par faute de compatibilité.
2. *Problèmes de sécurité* : Comme dans les autres services cloud, la sécurité est l'un des problèmes majeurs des services PaaS. Étant donné que les données sont stockées sur des serveurs tiers hors site, de nombreux développeurs ont peur de recourir aux services PaaS.
3. *Besoin d'internet* : Avec une connexion Internet lente, la convivialité et l'efficacité de la plateforme PaaS ne satisfont pas aux exigences des développeurs.

4.3.3 Software as a Service (SaaS)

SaaS signifie les applications cloud qui s'adressent directement à l'utilisateur final. Ces applications (SaaS) sont livrées à la demande sur internet, et il n'est pas nécessaire de les installer localement. L'utilisateur peut accéder aux services SaaS à tout moment

et depuis n'importe quelle appareil connectée tels que les laptops, tablettes, ou smart phones.

En SaaS, l'utilisateur final est libre de maintenir l'infrastructure, la plate-forme de développement et l'application qu'il utilise. Toute la maintenance sera effectuée par les fournisseurs SaaS comme illustré Figure 4.1(c).

Le fournisseur SaaS peut fournir des services commerciaux, des réseaux sociaux, la gestion de documents et des services de messagerie :

Business service : La plupart des fournisseurs de SaaS ont commencé à fournir une variété de services commerciaux qui attirent les start-ups. Parmi ces applications on trouve les ERP, CRM, logiciels de facturation et de vente ...etc.

Réseaux sociaux : Étant donné que les sites de réseaux sociaux sont largement utilisés par le grand public, de nombreux fournisseurs de services de réseaux sociaux ont adopté le SaaS pour leur durabilité.

Gestion des documents : la plupart des fournisseurs SaaS ont commencé à fournir des services qui sont utilisés pour créer, gérer et suivre les documents électroniques exemple *Google docs*.

Messagerie électronique : Pour gérer le nombre imprévisible d'utilisateurs et la charge sur les services de messagerie, la plupart des fournisseurs de messagerie ont commencé à offrir leurs services en tant que services SaaS exemple *Gmail*.

4.3.3.1 Caractéristiques du SaaS

Les services SaaS sont différents et offrent plus d'avantages aux utilisateurs que les logiciels traditionnels. Voici les caractéristiques essentielles des services SaaS qui le rendent unique par rapport aux logiciels traditionnels :

1. *Multi-tenant (One-to-many)* : Les services SaaS sont fournis comme un modèle *un-à-plusieurs* où une seule instance de l'application peut être partagée par plusieurs locataires ou clients (tenants) .
2. *Accès web* : Les services SaaS fournissent un accès Web aux applications. Il permet à l'utilisateur d'accéder à l'application depuis n'importe quel emplacement si l'appareil est connecté à Internet.

3. *Prise en charge de plusieurs appareils* : Les services SaaS sont accessibles à partir de tous les appareils des utilisateurs finaux tels que les ordinateurs de bureau, ordinateurs portables, tablettes, smartphones et clients légers (navigateurs web).
4. *Très évolutive* : Étant donné que la plupart des services SaaS utilisent PaaS et IaaS pour leur développement et leur déploiement, ils garantissent une meilleure évolutivité que les logiciels traditionnels.
5. *Haute disponibilité* : Les services SaaS garantissent la disponibilité à 99,99% des données utilisateur, car des mécanismes de sauvegarde et de restauration appropriés sont mis en oeuvre en back-end.
6. *Interopérabilité* : Les services SaaS ont la capacité de s'intégrer à d'autres logiciels ou services via des API standard.

4.3.3.2 Pertinences des SaaS

Le SaaS est populaire auprès des particuliers et des start-ups en raison des avantages qu'il offre. SaaS Services sont la meilleure solution dans les cas suivants :

- ***Application à la demande*** : Payer des licences pour des logiciels utilisés occasionnellement réduit le retour d'investissement et augmente les dépenses de l'entreprise. Pour cela, les utilisateurs recherchent un logiciel qu'ils peuvent utiliser au fur et à mesure de leurs besoins.
- ***Application pour les startups*** : Les startups qui ont des contraintes financières pour acquérir des infrastructures et des licences logicielles, SaaS est une solution très adéquate.
- ***Application compatible avec plusieurs appareils*** : Les services SaaS sont compatibles avec la majorité des appareils existants.
- ***Charge imprévisible et variable*** : Nous ne pouvons pas prédire la charge des applications populaires telles que les sites de réseaux sociaux. L'utilisateur peut se connecter ou se déconnecter des applications à tout moment. Grâce aux capacités de mise à l'échelle dynamique, les applications SaaS peuvent gérer des charges variables d'une manière efficace.

D'autre part, les services SaaS peuvent ne pas être le meilleur choix pour tous les types de logiciels. Dans ce qui suit, nous mentionnons des situations où le SaaS ne convient pas :

- ***Application temps-réel*** : Étant donné que les applications SaaS dépendent de

la connectivité Internet, elles peuvent ne pas fonctionner mieux avec une faible vitesse Internet.

- ***Application avec des données confidentiels*** : La sécurité des données, la gouvernance des données et la conformité des données sont toujours des problèmes avec les applications SaaS.
- ***Application locale satisfaisante*** : Certaines applications locale peuvent répondre à toutes les exigences de l'organisation. Dans de telles situations, la migration vers le modèle SaaS peut ne pas être bénéfique.

4.3.3.3 Avantages et inconvénients

Les applications SaaS sont utilisées par un large éventail de particuliers et de start-ups pour ses avantages liés aux coûts. Outre les avantages liés aux coûts, les services SaaS offrent les avantages suivants :

1. *Sans installation* : Les utilisateurs peuvent accéder aux services directement sans aucune installation.
2. *Réduction du coût* : Tant que, les services SaaS suivent le modèle *pay-as-you-use*, l'utilisateur ne payera que ce qu'il a utilisé.
3. *Moins de maintenance* : L'utilisateur n'a pas besoin de s'inquiéter pour toutes les opérations de maintenance et mise à jour de l'application car le fournisseur SaaS prend en charge toutes ces opérations.
4. *Accès facile* : Les services SaaS sont accessibles à partir de n'importe quel appareil s'il est connecté à Internet.
5. *Passage à l'échelle dynamique* : Les services SaaS sont élastiques et ils peuvent gérer tout type de charges variables sans perturber le comportement normal de l'application.
6. *Reprise après sinistre* : Avec des mécanismes de sauvegarde et de restauration appropriés, des répliques sont conservées pour tous les services SaaS.
7. *Mutualisation des ressources (Multitenancy)* : la multitenancy permet à une instance d'application d'être partagée par plusieurs clients.

Bien que les services SaaS sont utilisés par plusieurs particuliers et startups, l'adoption par les grandes industries est très faible. Voici les principaux problèmes rencontrés avec les services SaaS :

1. *Sécurité* : La sécurité est la principale préoccupation lors de la migration vers une application SaaS. Étant donné que l'application SaaS est partagée entre de nombreux utilisateurs, il existe une possibilité de fuite de données. L'utilisateur doit être prudent lors de la sélection du fournisseur SaaS pour éviter toute perte inutile de données
2. *Exigences de connectivité* : Les applications SaaS nécessitent une connectivité Internet pour y accéder. Parfois, la connectivité Internet de l'utilisateur peut être très lente. Dans de telles situations, l'utilisateur ne peut pas accéder facilement aux services.
3. *Perte de contrôle sur les données* : Étant donné que les données sont stockées dans un emplacement tiers et hors site, l'utilisateur final n'a aucun contrôle sur les données.

4.4 Conclusion

Deux aspects de base du cloud computing, les modèles de déploiement et les modèles de services. *(i)* Les modèles de déploiement sont basés sur plusieurs propriétés telles que la taille, l'emplacement et la complexité. Il existe quatre types de modèles de déploiement, la description de chaque modèle avec ses caractéristiques et son adéquation à différents types de besoins est abordée dans ce chapitre. *(ii)* Les modèles de service décrivent le type de service livré par le Fournisseur du service. Ils incluent : *(ii.1) Infrastructure as a Service (IaaS)* : consiste à fournir de l'infrastructure (matériel) comme service. Le service masque la complexité de la maintenance du matériel sous-jacent. *(ii.2) Plateforme as a Service (PaaS)* : Fournit différents plateforme de développement comme service. *(ii.3) Software as a Service (SaaS)* : L'utilisateur finale peut utiliser directement l'application. Le chapitre a présenté les caractéristiques, l'adéquation, les avantages et les inconvénients de chaque modèles.

Les technologies pilotes du Cloud Computing

Sommaire

| | | |
|------------|---|-----------|
| 5.1 | Introduction | 48 |
| 5.2 | SOA et Services Web | 48 |
| 5.2.1 | Propriétés du SOA | 49 |
| 5.2.2 | Avantages | 49 |
| 5.3 | La technologie multi-cœurs | 50 |
| 5.4 | La technologie de mémoire et de stockage | 50 |
| 5.4.1 | Exigences du stockage cloud | 50 |
| 5.5 | Les technologies de réseau | 51 |
| 5.6 | La virtualisation | 52 |
| 5.6.1 | Hyperviseurs | 53 |
| 5.6.2 | Virtualisation des ressources | 54 |
| 5.6.3 | Types de virtualisation | 57 |
| 5.6.4 | Avantage de la virtualisation | 59 |
| 5.7 | Migration des machines virtuelles VMs | 60 |
| 5.7.1 | Techniques de migration | 60 |
| 5.7.2 | Migration à froid (STOP and COPY migration) | 60 |
| 5.7.3 | Migration à chaud (LIVE migration) | 61 |
| 5.8 | Conclusion | 65 |

5.1 Introduction

Le cloud computing permet aux fournisseurs de services d'offrir diverses ressources telles que l'infrastructure, plate-forme et logiciel en tant que services selon le modèle pay-as-you-go (payer ce que vous utilisez). De nos jours, de plus en plus de sociétés entrent dans le scénario du cloud, en tant que fournisseurs ou consommateurs de services. Ce qui a impliqué une augmentation considérable du taux d'adoption de ce paradigme à travers le monde.

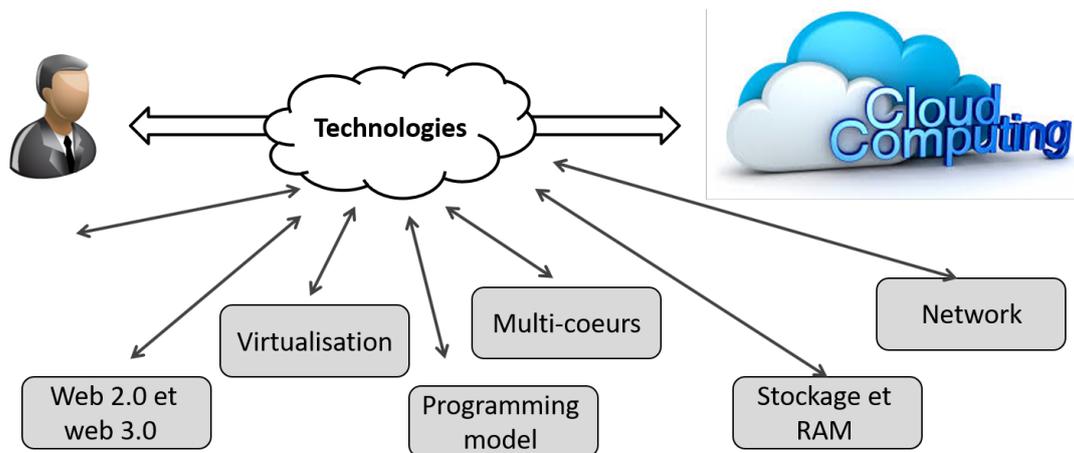


FIGURE 5.1: Technologies pilotes du cloud computing

D'un point de vue technologique, le succès du cloud computing peut être associé aux avancées technologiques dans divers domaines tels que l'architecture orientée service (SOA), les processeurs multi-cœurs, la technologie de stockage et de mémoire, la technologie de réseau, web 2.0 et web 3.0 et la virtualisation. Les progrès réalisés dans chacun de ces domaines technologiques ont considérablement contribué à l'adoption généralisée du cloud computing.

Ce chapitre présente d'une manière abstraite quelques technologies pilotes du cloud et montre également comment les dernières avancées technologiques dans chacune de ces technologies habilitantes ont eu un impact sur le succès du cloud computing.

5.2 SOA et Services Web

SOA est un style d'architecture logicielle, qui définit comment les services sont offerts et utilisés.

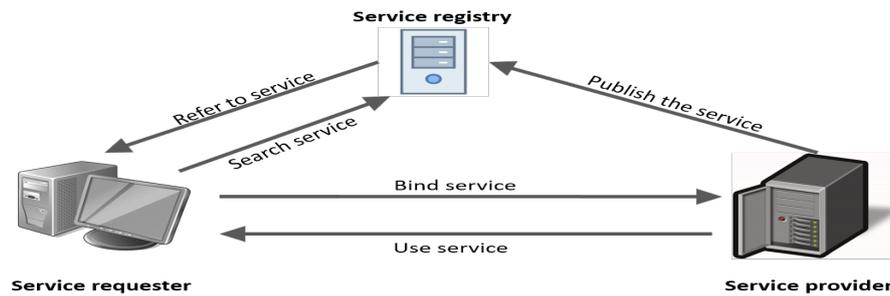


FIGURE 5.2: Participant et Actions dans SOA

5.2.1 Propriétés du SOA

- Elle est constituée de d'un ensemble de composants distribués → les services.
- l'échange des données entre les programmes de différents fournisseurs ne nécessite pas de programmation supplémentaire ou la modifications des services.
- Les services devraient être indépendants, et ils devraient avoir des interfaces standard.
- un service n'a pas besoin d'avoir une connaissance préalable de l'application appelante, et l'application n'a pas besoin d'avoir des connaissances sur la façon dont les tâches sont effectuées par un service.

Definition 5.2.1 SOA : *architecture système qui représente des méthodes ou des applications, différentes et incompatibles en tant que services réutilisables et accessibles de manière ouverte, permettant ainsi de les utiliser et les réutiliser de manière indépendante de la plate-forme ou de la langue.*

Definition 5.2.2 Web services : *Une application logicielle identifiée par un URI, dont les interfaces et liaisons sont définies, décrites et découvertes par des artefacts XML. Il prend en charge les interactions directes avec d'autres applications logicielles en utilisant des messages XML via des protocoles Internet.*

5.2.2 Avantages

- **La réutilisation :** Différents services peuvent être réutiliser par différentes applications, ce qui réduit les coûts de développement et de maintenance.
- **Agilité :** SOA peut apporter l'agilité architecturale dans une entreprise grâce à l'utilisation étendue des normes telles que les services web.

- **Monitoring** : Elle permet de surveiller les performances des différents services pour effectuer les changements requis.
- **Collaboration et extension** : Elle permet d'obtenir des services divers d'autres processus pour accomplir une tâche particulière.

5.3 La technologie multi-cœurs

- Dans la technologie multi-cœurs, deux processeurs ou plus travaillent ensemble sur la même puce où chaque processeur physique peut contenir plusieurs cœurs logiques.
- Ces processeurs sont emballés dans un seul circuit intégré (IC).
- La technologie multi-cœurs peut également faire référence à plusieurs ICs emballées ensemble.
- Elle permet au système d'effectuer plus de tâches avec des hautes performances.
- Elle aide à réduire la consommation d'énergie et à réaliser un traitement parallèle plus efficace de plusieurs tâches.
- Elle est utilisée pour accélérer le traitement dans l'environnement cloud.

5.4 La technologie de mémoire et de stockage

Le stockage dans le cloud doit traiter différents types de données telles que :

- Les images 2D et 3D (ex : médicales, satellitaires ... etc),
- Les fichiers audio (mp3, wma, wav ... etc),
- Les photos,
- Le streaming vidéo,

5.4.1 Exigences du stockage cloud

La technologie ou les solutions de stockage utilisées dans l'environnement cloud doivent répondre aux exigences suivantes :

- **Scalabilité** : le système de stockage doit prendre en charge l'évolutivité des données de l'utilisateur.

- **Haute disponibilité (High Availability) :** le degré de disponibilité des solutions de stockage déployées dans le cloud devrait être très élevé.
- **Bande passante élevée :** Le système de stockage dans le cloud doit supporter le taux rapide du transfert de données.
- **Performance constantes :** aucun problème de performances ne doit être associé au système de stockage, et les performances doivent être constantes tout au long de la période du contrat.
- **Équilibrage de charge (Load Balancing) :** Afin d'obtenir une utilisation efficace des ressources, les systèmes de stockage déployés dans le cloud doivent être suffisamment intelligents pour prendre en charge l'équilibrage des charges automatique des données des utilisateurs.

5.5 Les technologies de réseau

Les technologies et les solutions réseaux utilisées dans le cloud doivent répondre à ces exigences :

- **Consolider les charges de travail et fournir l'infrastructure en tant que service (IaaS) à divers utilisateurs :** La technologie réseau doit permettre la consolidation de la charge de travail de l'entreprise, qui réduit les coûts de gestion et offre plus de flexibilité et d'évolutivité pour la gestion des machines virtuelles.
- **Connecter des machines virtuelles aux réseaux physiques et virtuels :** Le système de réseau cloud doit prendre en charge les fonctionnalités permettant de connecter les différentes machines virtuelles aux réseaux virtuels et au réseau physique. Il convient également de faire respecter l'application de la politique de sécurité, l'isolement et les niveaux de service.
- **Assurer la connectivité et gérer la bande passante du réseau :** Le système de réseau cloud doit disposer des fonctionnalités d'équilibrage de charge et de basculement qui permettent l'agrégation de la bande passante du serveur et le basculement du trafic.
- **Accélérer les performances des applications et du serveur :** Diverses caractéristiques et technologies telles que les technologies à faible latence, le protocole de contrôle de transmission de centre de données pourraient être utilisés pour améliorer les performances de l'infrastructure de réseau en nuage.

5.6 La virtualisation

La virtualisation est la technologie la plus importante dans le cloud computing. Elle permet à une infrastructure physique de fonctionner comme plusieurs infrastructures ou ressources logiques. Elle permet également une utilisation efficace des ressources en exploitant la totalité des ressources disponibles. La virtualisation n'est pas seulement limitée au matériel, elle peut prendre de nombreuses formes telles que la mémoire, le processeur, les E / S, le réseau, le système d'exploitation, les données et les applications. Les différentes formes de virtualisation seront discutées dans la section suivante.

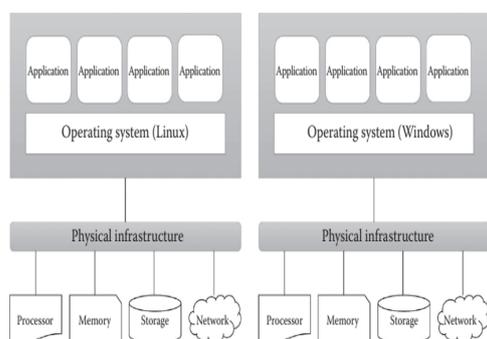


FIGURE 5.3: Avant la virtualisation.

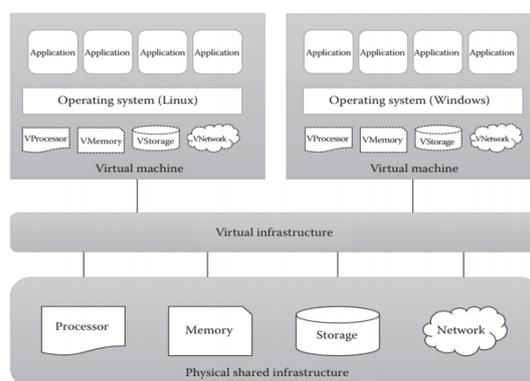


FIGURE 5.4: Après la virtualisation.

Avant la virtualisation (voir figure 5.3), une infrastructure physique (un serveur) a été utilisée pour exécuter un ou plusieurs systèmes d'exploitation et ses applications, ce qui entraîne une sous-utilisation des ressources. La nature non partagée du matériel oblige les organisations à acheter un nouveau matériel pour répondre à leurs besoins de calcul supplémentaires. Par exemple, si une organisation souhaite expérimenter ou simuler sa nouvelle idée, elle doit utiliser des systèmes dédiés distincts pour différentes expériences. Donc, pour mener à bien leurs travaux de recherche, ils ont tendance à acheter un nouveau matériel qui augmentera le CapEx¹.

Après l'introduction de la virtualisation (voir figure 5.4), différents systèmes d'exploitation et ces applications peuvent partager une seule infrastructure physique. La virtualisation réduit le montant énorme investi dans l'achat de ressources supplémentaires. La virtualisation devient un moteur clé dans l'industrie informatique, en particulier dans le cloud computing.

1. CapEx : Capital Expenditures signifie investissement capitale.

5.6.1 Hyperviseurs

Aujourd'hui, Les machines virtuelles (VMs) sont largement utilisées, au lieu des machines physiques, dans le domaine IT industriel. Ces VMs prennent en charge les solutions IT écologique. Étant donné que les machines virtuelles sont principalement utilisées, la technologie qui permet de créer ces environnements virtuels a aussi retenu l'attention du milieu industriel et académique.

L'environnement virtuel peut être créé avec l'aide d'un logiciel qui s'appelle *Hyperviseur* (*Hypervisor*). L'hyperviseur est un méta-système d'exploitation minimal qui se situe entre les VMs et l'infrastructure physique. Son rôle consiste à fournir l'infrastructure virtuelle requise pour les VMs. Généralement, l'infrastructure virtuelle signifie des processeurs virtuels (*vCPUs*), mémoire virtuelle (*vRAMs*), carte réseau virtuelle (*vNICs*), stockage virtuel ... etc. Les hyperviseurs, aussi appelés VMMs, sont considérés comme les principaux moteurs de la virtualisation dans les data-centers. Actuellement, il existe différents hyperviseurs qui sont utilisés dans l'industrie, parmi les VMMs les plus utilisés on trouve VMware, Xen, Hyper-V et KVM. Ces VMMs sont classés en deux catégories.

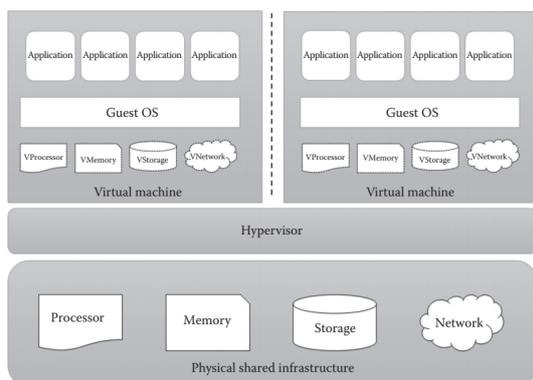


FIGURE 5.5: *Hyperviseur type 1.*

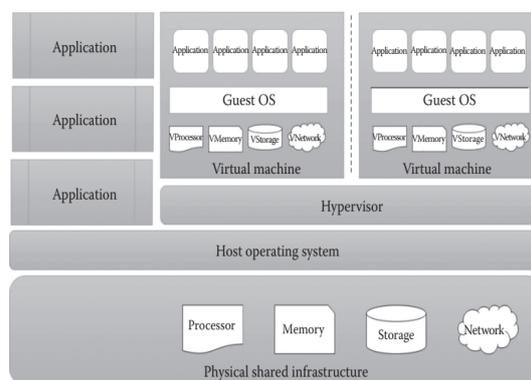
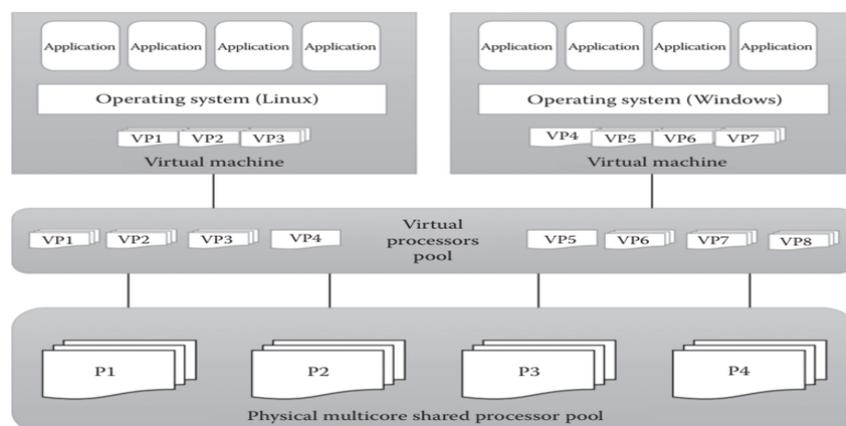


FIGURE 5.6: *Hyperviseur type 2.*

Hyperviseurs type 2 (hyperviseurs intégrés) Ce type d'hyperviseur est installé, comme un application, au dessus d'un système d'exploitation (voir figure 5.6). Il nécessite la communication avec l'OS hôte pour accéder aux ressources physiques. L'inconvénient majeur de cette approche est l'échec de l'OS hôte ce qui implique un échec des VMs. Donc, il est recommandé d'utiliser les VMMs type 2 uniquement sur les systèmes clients où l'efficacité est moins critique. Quelques exemples de VMM type 2 sont **VMware workstation/player**, **KVM**, **Oracle VirtualBox**.

FIGURE 5.7: *Virtualisation des processeurs*

Hyperviseurs type 1 (Bare metal) Il peut s'exécuter et accéder aux ressources physique directement sans l'aide d'un OS hôte (voir figure 5.5). comparé au hyperviseur type 2, la surcharge de la communication avec l'OS hôte est réduite qui offre une meilleure efficacité. Ce type d'hyperviseur est utilisé pour les serveurs qui gèrent des tâches lourdes et nécessitent plus de sécurité. Parmi les VMM type 1 on trouve **Microsoft *Hyper-V***, **Citrix *XenServer***, **VMware *ESXI*** et **Oracle VM pour *SPARC***.

5.6.2 Virtualisation des ressources

La virtualisation est le processus d'abstraction des ressources physiques dans le pool de ressources virtuelles qui peut être donné à n'importe quelle machine virtuelle (VM). Les différentes ressources comme la mémoire, les processeurs, le stockage et le réseau peuvent être virtualisées à l'aide des technologies de virtualisation appropriées. Dans cette section, nous allons discuter certaines des ressources qui peuvent être virtualisées.

5.6.2.1 Virtualisation du processeur

La virtualisation du processeur permet le partage du processeur physique en plusieurs processeurs logique (VCPU). Ce partage entre processeur ce fait au niveau de l'hyperviseur (couche de la virtualisation voir section 5.6.1). Les VCPUs sont ensuite utilisés/partagés par les machines virtuelles.

5.6.2.2 Virtualisation de la mémoire

Une autre technique importante de la virtualisation des ressources est la virtualisation de la mémoire. Le processus de la virtualisation de la mémoire consiste à mapper la mémoire physique en un pool de mémoire virtuelles partagé entre les VMs. L'idée principale consiste à mapper les numéros de page virtuels sur les numéros de page physiques. Tous les processeurs x86 modernes prennent en charge la virtualisation de la mémoire principale (voir section(5.6.3.3)).

En plus, la virtualisation de la mémoire peut, également, être réalisée en utilisant l'hyperviseur. Normalement, dans les centres de données virtualisés, la mémoire principale inutilisée des différents serveurs se consolidera en un pool de mémoire principale virtuelle et pourra être donnée aux VM. Le concept de virtualisation de la mémoire principale est illustré à la figure 5.8.

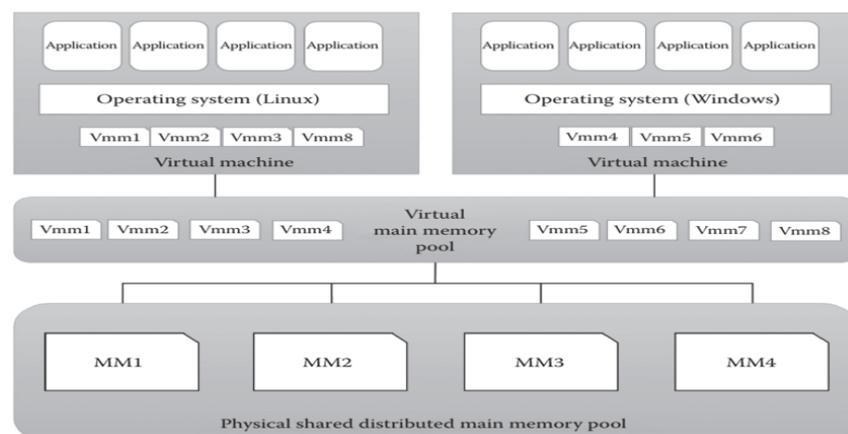


FIGURE 5.8: *Virtualisation de la mémoire*

5.6.2.3 Virtualisation du stockage

La virtualisation du stockage est une forme de virtualisation de ressources où plusieurs disques de stockage physique sont virtualisés en tant que groupe de disques de stockage virtuel (logique) pour les VMs. Le processus de virtualisation du stockage est illustré dans la figure 5.9.

La virtualisation du stockage est principalement utilisé pour le maintien d'une sauvegarde ou une réplique des données qui sont stockées sur les machines virtuelles. De plus, il peut être étendu pour supporter la haute disponibilité des données. Parmi les techniques

avancées de la virtualisation du stockage on peut citer **Storage Area Network (SAN)** et **Network Attached Storage (SAN)**.

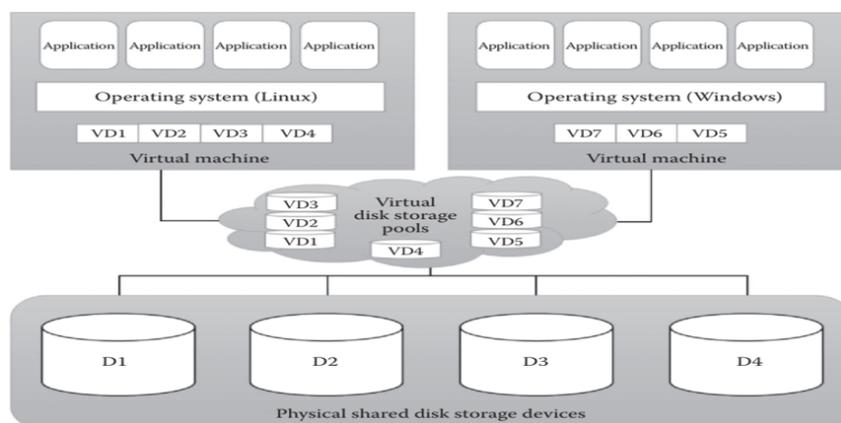


FIGURE 5.9: *Virtualisation du stockage*

5.6.2.4 Virtualisation du réseau

La virtualisation du réseau (illustré dans la figure 5.10) correspond à la virtualisation de plusieurs fonctions du réseau. Elle permet le partage d'une carte réseau par plusieurs machine virtuelles. par conséquent, on peut avoir plusieurs réseaux virtuels au sein d'une seule machine physique avec une seule carte physique.

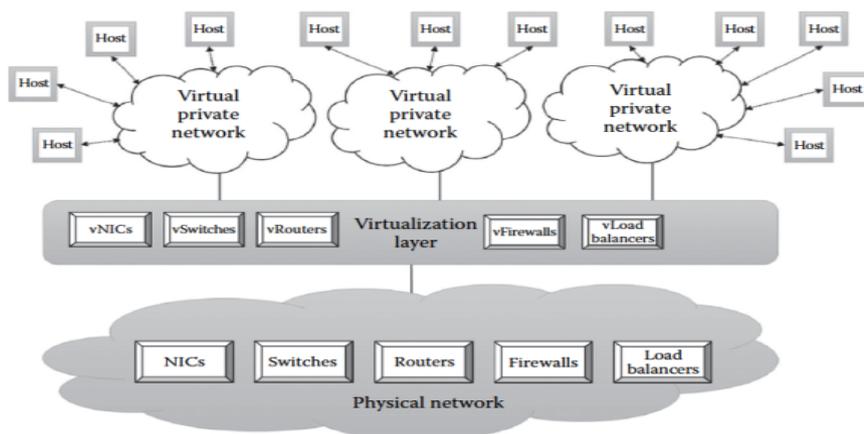


FIGURE 5.10: *Virtualisation du réseau*

La virtualisation du réseau (VLAN) a les avantages suivants :

- **Transparence** : les périphériques distribués peuvent être regroupés dans un seul réseau logique. Les VLANs sont très utiles lors de la conception des IT pour des emplacements géographiquement disparates.
- **Sécurité** : Certains systèmes qui nécessitent une certaine protection particulière peuvent être cachés dans un réseau virtuel séparé.

par ailleurs, les VLAN impliquent plus de surcharge pour l'administration du réseau et pour la programmation des composants réseau actifs (switchs, etc.)

5.6.3 Types de virtualisation

Il existe 3 approches différentes de la virtualisation

5.6.3.1 Virtualisation complète

Dans la virtualisation complète, l'OS invité² est complètement abstrait de la couche physique car l'hyperviseur découple l'OS de l'infrastructure matériel. Dans ce cas l'OS invité ne sait pas qu'il est virtualisé et pense qu'il s'exécute sur du vrai matériel.

Dans cette approche l'hyperviseur fournit toutes les infrastructures virtuelles nécessaires aux machines virtuelles. Par conséquent, l'OS invité ne peut pas communiquer avec l'infrastructure physique directement, il nécessite l'aide de l'hyperviseur. Cette approche utilise les translations binaire (binary translation) pour transformer les instructions de l'OS invité non-virtualisées par des nouvelles séquences d'instructions qui ont le même effet prévu sur l'infrastructure virtuelle.

Avantages

- Cette approche fournit une meilleure isolation et sécurité pour les machines virtuelles.
- Elle permet d'exécuter plusieurs OS simultanément.
- L'OS invité peut facilement migrer pour s'exécuter sans virtualisation.
- Ne nécessite pas de modification sur le système d'exploitation invité.

Inconvénients

- Les translations binaires sont une surcharge supplémentaire qui réduit les performances globales du système.

2. l'OS invité (OS Guest) est le système d'exploitation installé sur la machine virtuelle.

5.6.3.2 Paravirtualisation

Cette approche est également connu sous le nom de *Partial virtualisation* ou bien *OS-assisted-virtualisation*. Elle fournit une simulation partielle de la couche physique. La différence majeure entre la virtualisation complète et la para-virtualisation est que l'OS invité sait qu'il s'exécute dans un environnement virtualisé dans la para-virtualisation. En plus, la para-virtualisation remplace la translations binaire des requêtes (non virtualisé) de l'OS invité par des *hypercalls*. les *hypercalls* sont similaire aux appels système et utilisés pour communiquer directement avec l'hyperviseur. Cette communication directe entre l'OS invité et l'hyperviseur améliore les performance et l'efficacité de cette approche. Cependant, l'OS invité doit être modifié à cet effet.

Avantages

- La para-virtualisation élimine le surcoût supplémentaire de la translation binaire et améliore ainsi l'efficacité et les performances globales du système.
- Elle est plus facile à mettre en place que la virtualisation complète.

Inconvénients

- Il y'a une surcharge au niveau de l'OS invité.
- L'OS invité doit être modifié et il ne peut pas s'exécuté sans virtualisation.
- Les machines virtuelles ne peuvent pas être migrer vers d'autres serveurs (hôtes).

5.6.3.3 Virtualisation assisté par le matériel

Dans les deux approches précédentes, il y'a un surcout supplémentaire de la translation binaire ou la modification de l'OS invité pour réaliser la virtualisation. Mais dans cette approche, Les fournisseurs de matériel eux-mêmes offrent la prise en charge de la virtualisation, ce qui élimine les surcharges des approches précédentes. Ces vendeurs, comme *Intel* et *AMD*, ont ajouté une extension matériel à leur processeur x86 pour prendre en charge la virtualisation.

Par exemple, *Intel* a lancé sa technologie de virtualisation Intel (**VT-x**) et *AMD* a lancé *AMD-v* pour simplifier la technique de virtualisation. Comme indiqué précédemment, la technique de virtualisation assistée par matériel supprime la traduction binaire et la paravirtualisation. Ici, les demandes du système d'exploitation communique directement avec l'hyperviseur sans aucune traduction.

Avantages

- Réduction de la surcharge de la translation binaire dans les virtualisations complètes.
- Ne modifie pas l'OS invité

Inconvénients

- Seuls les processeurs de nouvelle génération ont ces capacités..
- Un plus grand nombre d'interruptions de VM entraîne une surcharge élevée du processeur, une évolutivité limitée et une efficacité moindre dans la consolidation des serveurs.
- Les performances sont inférieures à la paravirtualisation.

5.6.4 Avantage de la virtualisation

Pour un fournisseur des services IT, l'utilisation des techniques de virtualisation a un nombre d'avantages :

- **Consolidation des ressources** : la possibilité de faire fonctionner plusieurs systèmes en parallèle sur un serveur, ce qui se traduit par la réduction du nombre de serveurs et la quantité de matériel informatique nécessaire dans le centre de données.
- **Utilisation des ressources** : la virtualisation permet d'accroître le taux d'utilisation des ressources (60 à 80%) contre 10 à 20% en non virtualisation.
- **Gestion automatique** : Les machines virtuelles peuvent être créées et configurées automatiquement selon les besoins.
- **Consommation d'énergie** : la consolidation des ressources diminue le nombre de composants physiques ce qui implique une réduction des dépenses énergétiques.
- La virtualisation facilite l'installation, la sauvegarde, le déploiement des systèmes et des applications et simplifie la migration des applications sur de nouveaux serveurs.
- **Sécurisation et/ou isolation** : La virtualisation crée des environnements sécurisés et isolés.
- **Comportement dynamique** : En cas de goulots d'étranglement (surcharge), une machine virtuelle peut utiliser des ressources supplémentaires.

- **Diminuer la surface au sol** : Chaque espace carré de centre de données est rare et couteux. Avec la virtualisation, la même performance peut être obtenue sur une plus petite surface.

5.7 Migration des machines virtuelles VMs

La migration des machines virtuelles consiste à déplacer l'état d'une VM d'un serveur hôte physique à un autre. Elle inclut :

1. La mémoire volatile et non-volatile (représente la majeure partie des données à transférer).
2. L'état des CPUs virtuels (VCPUs).
3. Les paramètres des interfaces réseaux et le détail des connexions actives.

On appelle les deux dernières parties les données annexes (états VCPUs + Paramètres VNICs).

Pourquoi la migration des VMs Les VMs peuvent être migrer/déplacer pour une des raison suivantes :

- Équilibrer les charges des serveurs.
- Serveur hôte défectueux ou nécessite une maintenance.
- Améliorer les performances des applications.
- Pour des raison économie par exemple réduction de consommation énergétique.

5.7.1 Techniques de migration

On distingue deux types de migration des machines virtuelles

1. Migration à froid (**STOP and COPY migration**).
2. Migration à chaud (**Livre migration**).

5.7.2 Migration à froid (STOP and COPY migration)

La migration à froid des VMs est la stratégie la plus basique, elle consiste à *(i)* Mettre la VM hors tension afin de copie son état sur le serveur hôte cible. *(ii)* Une fois que la mémoire soit transférée entièrement la VM reprend son activité dans le même état que

lorsqu'elle s'est arrêtée. *(iii)* Le temps total de la migration est égal au temps d'arrêt de la machine virtuelle.

Avantages

- Facile à appliquer.
- Aucune faute lors de la migration de la mémoire.
- La machine une fois migrée pourra reprendre son activité dans le même état que lorsqu'elle s'est arrêtée.

Inconvénients

- Les services fonctionnant ne seront plus disponibles durant toute la durée de la migration.
- Ralentissement sur le réseau du cloud durant le transfert de la mémoire entièrement.

5.7.3 Migration à chaud (LIVE migration)

La migration à chaud est une stratégie utilisée pour pallier les problèmes de migration à froid. Elle permet à un hyperviseur *(i)* de transférer une machine virtuelle en cours d'exécution d'un hôte à un autre sans interruption de service. Elle assure *(ii)* une durée d'interruption minimale de la machine virtuelle.

Il existe deux principale approches de live migration :

1. Migration pré-copie.
2. Migration post-copie.

5.7.3.1 Migration pré-copie

L'algorithme de pré-copie est l'implémentation la plus répandue de la migration à chaud. Il consiste principalement à transmettre l'ensemble des pages mémoire de la VM vers l'hôte de destination tout en garantissant une faible durée d'interruption (voir figure 5.11).

Algorithme de migration pré-copie L'algorithme de pré-copie est un processus de transmission itératif. Il consiste à :

1. Envoyer l'ensemble des pages mémoire utilisées vers le serveur de destination.

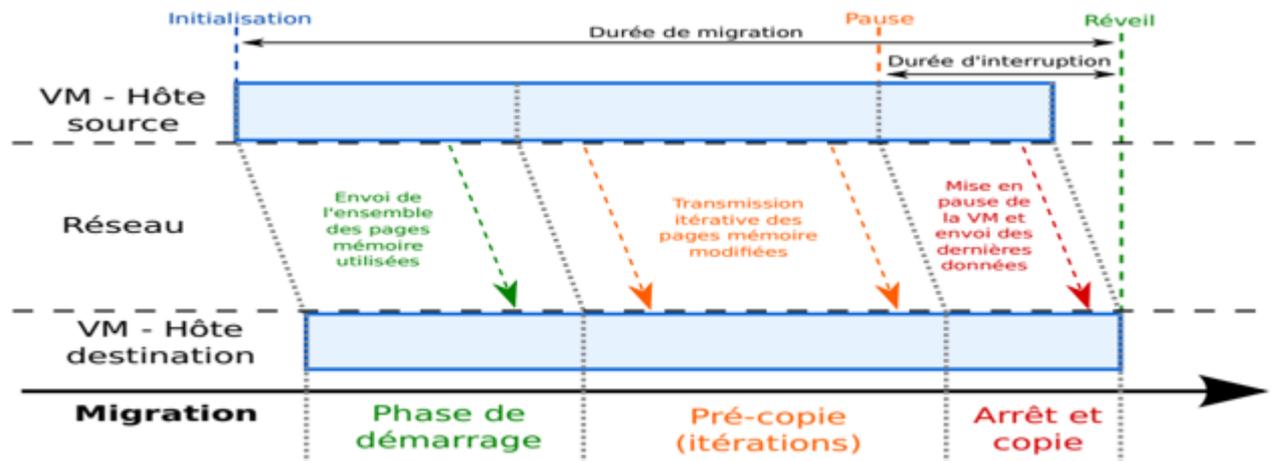


FIGURE 5.11: *Processus live migration pré-copie*

2. les pages mémoire modifiées durant chaque transfert sont envoyés lors de la prochaine itération.
3. Atteindre la phase arrêt et copie (nombre de pages restante inférieur à un certain seuil).
4. Mettre en pause la VM sur la machine source.
5. Transférer les dernières pages modifiées.
6. Activer la VM dans la machine destination.

Avantages

- Assure un temps d'interruption faible et borné ce qui implique temps de disponibilité fiable.

Inconvénients

- La durée d'interruption maximale est trop faible pour pouvoir envoyer les dernières pages modifiées au serveur destination \Rightarrow la migration peut durer indéfiniment.

5.7.3.2 Migration post-copie

L'algorithme de post-copie débute par l'arrêt immédiat de la machine virtuelle sur le serveur source puis transfère uniquement les données annexe avant d'activer la VM sur le serveur de destination (voir figure 5.12).

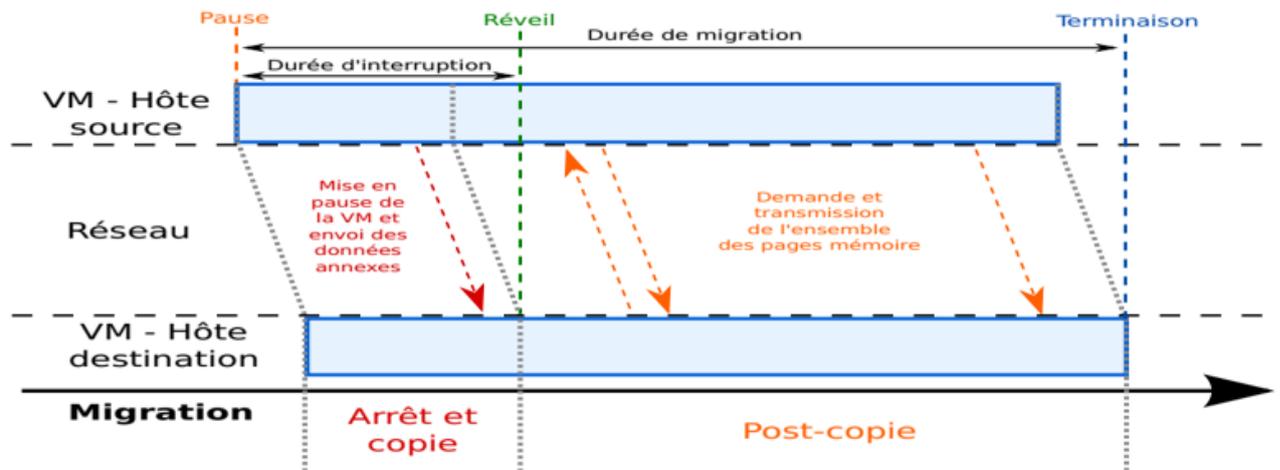


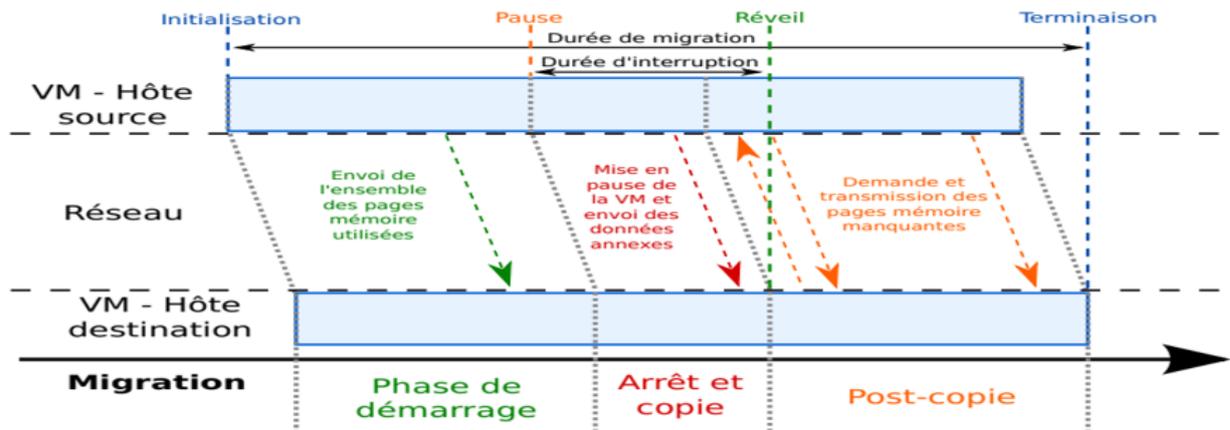
FIGURE 5.12: *Processus de migration post-copie.*

Algorithme de migration post-copie l'algorithme de post-copie (illustrer dans la figure 5.12) consiste à :

1. L'arrêt de la VM sur l'hôte source.
2. Transfert des pages annexes et l'état d'exécution de la VM vers le serveur destination.
3. L'activation de la VM dans le serveur destination.
4. Générer les défauts de pages mémoires.
5. Renvoyer les pages mémoires modifiée.
6. Répéter le 4 et 5 jusqu'à l'arrivé complet de toutes les pages mémoires.

Les techniques utilisé dans la migration post-copie

1. **La récupération à la demande (Demand Paging)** : le serveur de destination demande la récupération des pages manquantes a l'hôte source lorsque la VM en a besoin.
2. **La poussé active (Active-push)** : cette méthode est utilisée pour transférer de façon continu les pages mémoire manquantes vers le serveur de destination. Elle envoie en priorité les pages mémoire ayant une dépendance résiduelle avec les pages déjà demandées.
3. **La pré-pagination** : Cette méthode permet d'améliorer la poussée active en prédisant les prochaines pages mémoire qui ont le plus de chances d'être accédées

FIGURE 5.13: *Processus de post-copie hybride.*

rapidement par la VM.

Avantages

- La post-copie permet de garantir une durée d'interruption fixe très faible quelle que soit l'activité mémoire de la VM à migrer.

Inconvénients

- La défaillance de l'un des deux hôtes, source ou destination, en cours de migration entraîne la perte inévitable de l'intégrité de l'état mémoire de la VM.

5.7.3.3 Migration post-copie hybride

l'algorithme effectue la première itération de pré-copie, qui revient à transférer l'ensemble des pages mémoire utilisées par la VM, avant de réveiller la VM sur l'hôte de destination. Ensuite, la phase de post-copie commence (voir figure 5.13).

Algorithme de migration post-copie hybride l'algorithme de migration post-copie hybride consiste à :

1. Envoyer l'ensemble des pages mémoire utilisées vers le serveur de destination.
2. L'arrêt de la VM sur l'hôte source.
3. Transfert des pages annexes et l'état d'exécution de la VM vers le serveur destination.
4. L'activation de la VM dans le serveur destination.

5. Générer les défauts de pages mémoires.
6. Renvoyer les pages mémoires modifiées.
7. répéter le 4 à 5 jusqu'à l'arrivé complet de toutes les pages mémoires.

Avantages

- La post-copie hybride permet de garantir une durée d'interruption fixe très faible quelle que soit l'activité mémoire de la VM à migrer.
- Améliorer les performances de l'algorithme post-copie.

5.8 Conclusion

Actuellement, le model cloud computing a dominé le monde IT industriel et il est adopté de plus en plus par les entreprises. Même si le cloud est un nouveau modèle de prestation des service, il utilise des technologies qui existe depuis longtemps pour aboutir à ces objectives.

Ce chapitre se concentre sur les différents moteurs technologiques du cloud computing. Il traite des technologies habilitantes de base du cloud computing telles que *SOA*, *Multi-coeurs*, *Stockage*, *Réseau*, *hyperviseur* et la *vitrualisation*. Il explique également comment ces technologies sont liées au modèle cloud, aidant le cloud à fournir des services de qualité.

Conclusion générale

Dans ce polycopie, nous avons présenté les concepts fondamentaux à connaître pour comprendre la technologie Cloud Computing. Nous avons commencé par présenter le contexte, la motivation et la définition du cloud. Ensuite, nous avons présenté les modèles de déploiement et les modèles de services cloud. Afin de faire un bon choix, d'un point de vue commercial, du modèle de déploiement ou du service, nous avons décrit en détail la description, les caractéristiques, les adéquations et les avantages/inconvénients de chaque modèle. Le dernier point était consacré aux technologies moteurs du Cloud Computing où nous avons montré que cloud computing utilise ces technologies pour atteindre ses objectifs.

Le cloud computing reste évidemment un sujet passionnant et prometteur. Nous espérons qu'avec ce petit recueil, nous avons réussi à donner un aperçu bref et concis de cette tendance.

Bibliographie

- [1] Michael Armbrust, Armando Fox, Rean Griffith, Anthony D. Joseph, Randy Katz, Andy Konwinski, Gunho Lee, David Patterson, Ariel Rabkin, Ion Stoica, and Matei Zaharia. Above the clouds : A berkeley view of cloud computing. Technical report, University of California at Berkeley, February 2009.
- [2] Christian Baun, Marcel Kunze, Jens Nimis, and Stefan Tai. *Cloud computing : Web-based dynamic IT services*. Springer, Berlin, 2011. 46.02.12 ; LK 01 ; Berlin [u.a.] : Springer, 2011.
- [3] K. Chandrasekaran. *Essentials of Cloud Computing*. Chapman and Hall/CRC, 1st edition, 2014.
- [4] Guerid Hachem. Cours : "Cloud computing". Master 2 RSID Informatique. Universite des Sciences et de la Technologie d'Oran. 2019-2020

Table des figures

| | | |
|------|--|----|
| 2.1 | Historiques et générations de l'informatique | 6 |
| 2.2 | Consommation journalière des ressources informatique. | 7 |
| 2.3 | Caractéristiques du cloud computing | 9 |
| 2.4 | Les modèles de services du cloud computing | 10 |
| 3.1 | L'écosystème Cloud computing | 16 |
| 3.2 | L'architecture du Cloud computing | 17 |
| 3.3 | Structure du Cloud computing | 19 |
| 3.4 | Evolution des applications | 21 |
| 4.1 | Responsabilités des utilisateurs et des fournisseur pour chaque type de modèle de service : (a) IaaS, (b) PaaS, (c) SaaS | 34 |
| 5.1 | Technologies pilotes du cloud computing | 48 |
| 5.2 | Participant et Actions dans SOA | 49 |
| 5.3 | Avant la virtualisation. | 52 |
| 5.4 | Après la virtualisation. | 52 |
| 5.5 | Hyperviseur type 1. | 53 |
| 5.6 | Hyperviseur type 2. | 53 |
| 5.7 | Virtualisation des processeurs | 54 |
| 5.8 | Virtualisation de la mémoire | 55 |
| 5.9 | Virtualisation du stockage | 56 |
| 5.10 | Virtualisation du réseau | 56 |
| 5.11 | Processus live migration pré-copie | 62 |
| 5.12 | Processus de migration post-copie. | 63 |
| 5.13 | Processus de post-copie hybride. | 64 |

Liste des tableaux

