

Table des matières

| | | |
|----------|--|----------|
| 1 | Introduction | 1 |
| 2 | Le Cloud Computing | 1 |
| 2.1 | Qu'est-ce que le Cloud Computing | 1 |
| 2.2 | Les différents services | 2 |
| 2.3 | Le Cloud Computing et cluster : | 4 |
| 2.4 | Avantages du cloud computing | 5 |
| 2.5 | les différents types de cloud computing | 5 |
| 2.6 | le Cloud Computing et OpenSource | 6 |
| 3 | Mise en place du Cloud Computing (OpenNebula) | 6 |
| 3.1 | Introduction | 6 |
| 3.2 | Manuelle d'installation | 6 |
| 3.3 | Manuelle d'utilisation | 9 |
| 3.4 | Manuelle de monitoring | 13 |

1. Introduction

Le Cloud Computing constitue aujourd'hui une avancée majeure dans le domaine des technologies de l'information, en permettant la mutualisation et la gestion centralisée des ressources matérielles et logicielles pour offrir des services à la demande via Internet.

Ce mini-projet s'intéresse à la mise en place d'une infrastructure cloud open source basée sur OpenNebula, une alternative libre et performante aux solutions propriétaires. Grâce à des technologies de virtualisation, OpenNebula offre une grande évolutivité, le support de l'edge computing et la possibilité de gérer des environnements hybrides.

Le projet vise à déployer un cluster OpenNebula démontrant l'automatisation des charges de travail.

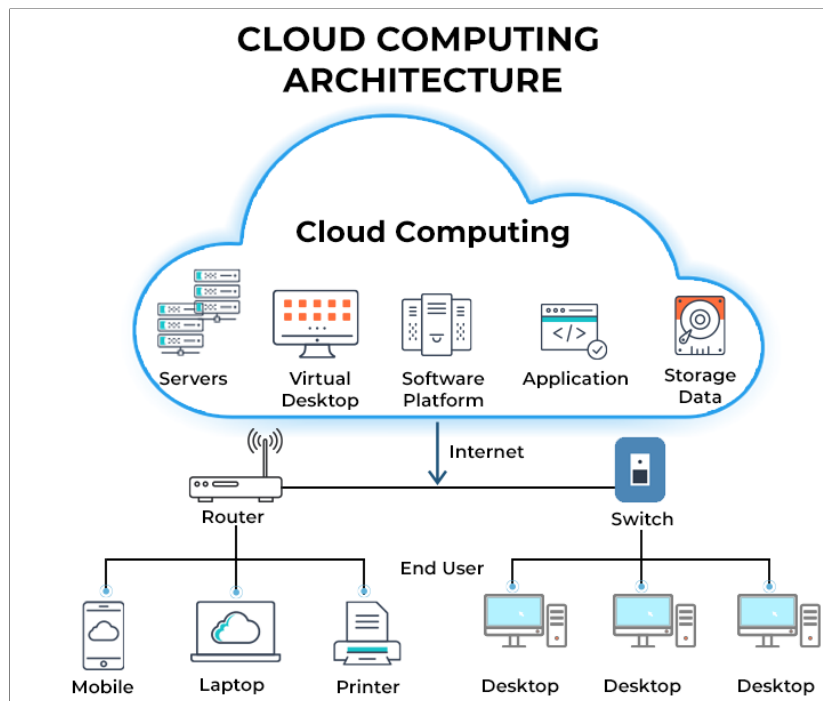


FIGURE 1 – L'architecture Cloud

2. Le Cloud Computing

2.1 Qu'est-ce que le Cloud Computing

L'informatique en nuage, c'est la manière d'utiliser l'informatique à distance via Internet, sans avoir à posséder soi-même les serveurs, les logiciels ou espaces de stockage. Au lieu d'acheter et de gérer du matériel, on loue des ressources auprès de fournisseurs spécialisés, et on y accède facilement depuis n'importe quel appareil connecté.

2.2 Les différents services

On possède 3 modèles de services offerts par Cloud.

2.2.1 Software as a Service (SaaS)

- Le client utilise une application offerte par le fournisseur du nuage et hébergée dans son infrastructure informatique.
- L'application est accessible grâce à une interface client (un navigateur Web) à partir d'un appareil connecté à Internet.
- Le client ne gère ni ne contrôle l'infrastructure informatique où il n'y a aucun contrôle sur le réseau, les serveurs, les systèmes d'exploitation, le stockage, ou même les fonctionnalités de l'application (il est parfois possible de configurer quelques paramètres spécifiques à l'utilisateur).

Avantages :

- **Accessibilité** : possibilité de fonctionner via un navigateur internet 24 h/24 et 7 j/7 depuis n'importe quel appareil et n'importe où.
- **Gestion opérationnelle** : il n'y a pas d'installation, de mise à jour des équipements ou de gestion traditionnelle des licences.
- **Rentable** : pas de frais matériels initiaux et des méthodes de paiement flexibles.
- **Évolutivité** : répond facilement à l'évolution des besoins.
- **Stockage des données** : les données sont régulièrement enregistrées dans le cloud.
- **Analytique** : accès aux outils de reporting et d'intelligence des données.
- **Sécurité** : les fournisseurs SaaS investissent massivement dans la technologie et l'expertise en matière de sécurité.

Inconvénients :

- **L'accès au logiciel via une connexion internet** : En cas d'absence, de blocage ou encore de panne, impossible d'accéder au logiciel. Mais avec de plus en plus de réseaux à large bande et à haut débit, comme la 5G, ce souci se rencontre de moins en moins.
- **Perte de contrôle** : cet aspect peut poser problème à certaines entreprises. En effet, dans le cadre d'un SaaS, le fournisseur gère tout, rendant l'entreprise dépendante de ses capacités.
- **Personnalisation limitée** : la possibilité réduite de personnaliser les fonctionnalités ou l'apparence du logiciel est aussi un autre inconvénient du SaaS comparativement aux logiciels on premise. À noter néanmoins que de nombreux fournisseurs de service proposent une formule sur mesure de leur logiciel SaaS pour les entreprises qui le souhaitent.

2.2.2 Platform as a Service (PaaS)

- Le client est capable de déployer sur l'infrastructure infonuagique des applications créées à l'aide de langages de programmation, de bibliothèques, de services et d'outils fournis par le fournisseur du cloud.
- Aucun contrôle sur l'infrastructure infonuagique sous-jacente, le réseau, les serveurs, les systèmes d'exploitation, le stockage Le client contrôle les applications déployées et éventuellement quelques paramètres de configuration de l'environnement d'hébergement.

Avantages :

- **Réduction des coûts :** le modèle PaaS minimise les investissements initiaux en infrastructure et réduit les coûts opérationnels. Les entreprises paient uniquement pour les ressources qu'elles utilisent, optimisant ainsi leurs dépenses IT.
- **Accélération du développement :** grâce aux solutions de développement intégrées et aux composants préconstruits disponibles sur les plateformes PaaS, les développeurs peuvent créer et déployer des applications beaucoup plus rapidement qu'avec des méthodes traditionnelles.
- **Flexibilité et scalabilité :** Les services basés sur le cloud et le full cloud offrent une grande flexibilité et permettent une mise à l'échelle aisée des applications en fonction de la demande, sans nécessiter d'interventions matérielles.
- **Facilité de maintenance et de mise à jour :** La gestion de l'infrastructure et des logiciels est prise en charge par le fournisseur de services, réduisant ainsi la charge de travail liée à la maintenance et aux mises à jour des systèmes.
- **Favorise l'innovation :** En réduisant les obstacles techniques, le PaaS encourage l'expérimentation et l'innovation, permettant aux développeurs de tester de nouvelles idées avec une facilité et une vitesse accrues.
- **Collaboration améliorée :** Les environnements PaaS facilitent la collaboration entre les équipes de développement dispersées géographiquement, grâce à l'accès centralisé aux outils et aux ressources.

Inconvénients :

- **Fiabilité dépendante d'Internet :** Comme le PaaS fonctionne exclusivement via une connexion Internet, toute interruption ou instabilité réseau peut perturber les opérations. Les entreprises dont les activités nécessitent une disponibilité continue doivent donc prévoir des solutions de secours adaptées.
- **Responsabilités en matière de sécurité :** Dans le modèle PaaS, le fournisseur prend en charge la protection de l'infrastructure, mais la sécurité des données et des applications reste sous la responsabilité de l'entreprise. Une mauvaise gestion de cet équilibre peut exposer les systèmes à des vulnérabilités.
- **Moins de maîtrise sur l'infrastructure :** L'utilisation du PaaS implique de déléguer une partie des décisions et de la gestion de l'infrastructure au fournisseur. Cela peut soulever des interrogations sur la localisation des données, leur traitement ou encore la capacité à changer de prestataire en cas de besoin.

2.2.3 Infrastructure as a Service (IaaS)

- Le client a accès à des ressources informatiques telles que CPU, stockage, réseaux (par exemple, machine virtuelle). Le client est en mesure de déployer et exécuter n'importe quel logiciel (incluant systèmes d'exploitation et applications).
- Le client ne contrôle ni ne gère l'infrastructure infonuagique sous-jacente.

Avantages :

- **Flexibilité et agilité** : Les entreprises peuvent rapidement répondre à des besoins imprévus ou modifier leurs configurations.
- Réduction des coûts opérationnels : L'absence de matériel physique élimine les coûts liés à l'entretien et à l'énergie.
- **Fiabilité** : Les fournisseurs garantissent souvent une disponibilité élevée grâce à des systèmes de récupération après sinistre robustes.
- **Support technologique** : Les entreprises bénéficient des dernières avancées technologiques grâce à des mises à jour et innovations régulières.

Inconvénients :

- **Compétences techniques** : nécessité de maîtriser la virtualisation, la gestion des infrastructures et la sécurité (formations ou externalisation).
- **Coûts imprévus** : risques liés au modèle de facturation à l'usage (pics d'utilisation, transferts de données, mauvaise planification).
- **Sécurité et conformité** : responsabilité des entreprises pour la protection des données sensibles et le respect de normes comme le RGPD.
- **Dépendance au fournisseur** : difficultés possibles en cas de hausse des prix, de changements contractuels ou de migration vers un autre prestataire.

2.3 Le Cloud Computing et cluster :

| Aspect | Cluster | Cloud |
|----------------------|---|---|
| Infrastructure | Des serveurs physiques reliés en cluster. | Des serveurs virtuels hébergés sur Internet. |
| Scalabilité | Limitée par l'infrastructure physique. | Scalabilité pratiquement illimitée. |
| Coût | Coût initial de mise en place élevé. | Modèle de tarification à l'usage. |
| Accessibilité | Limitée au réseau interne (sur site). | Accessible via Internet. |
| Gestion | Nécessite une gestion en interne. | Gérée par les fournisseurs de services cloud. |
| Tolérance aux pannes | Gérée au sein des nœuds du cluster. | Gérée à travers des serveurs distribués. |
| Flexibilité | Matériel et ressources fixes. | Allocation dynamique des ressources. |

TABLE 1 – Comparaison entre un cluster et le cloud

2.4 Avantages du cloud computing

Les avantages :

- Temps de production réduit.
- Vous pouvez créer ou supprimer des instances en quelques secondes, ce qui permet d'accélérer le travail des développeurs grâce à des déploiements rapides.
- Permet de faire évoluer rapidement les ressources et l'espace de stockage pour répondre aux besoins de l'entreprise sans avoir à investir dans une infrastructure physique.
- Les entreprises n'ont pas besoin de payer ni de créer l'infrastructure nécessaire pour gérer leurs niveaux de charge les plus élevés.
- Collaboration plus efficace : Le stockage dans le cloud vous permet de rendre des données disponibles partout et à tout moment. Au lieu d'être liées à un emplacement ou un appareil spécifiques, les données sont accessibles aux utilisateurs du monde entier depuis n'importe quel appareil, à condition de disposer d'une connexion Internet.
- Sécurité avancée : Malgré les idées reçues, le cloud computing peut en réalité renforcer votre stratégie de sécurité grâce à la profondeur et la couverture des fonctionnalités de sécurité, de la maintenance automatique et de la gestion centralisée qu'il intègre.
- Les fournisseurs cloud réputés emploient également des experts de premier plan dans le domaine de la sécurité, et font appel aux solutions les plus avancées, offrant ainsi une protection renforcée.

Les limites :

- Dépend de l'internet.
- Risque de dépendance vis-à-vis d'un fournisseur.
- Contrôle réduit sur l'infrastructure cloud sous-jacente.
- Préoccupations concernant les risques de sécurité, tels que la confidentialité des données et les menaces en ligne.
- Complexité de l'intégration avec les systèmes existants.
- Frais imprévus et dépenses inattendues.

2.5 les différents types de cloud computing

Les trois principaux types de cloud computing sont le cloud public, le cloud privé et le cloud hybride.

- **Cloud public** Les clouds publics fournissent des ressources telles que le calcul, le stockage, la mise en réseau, les environnements de développement et de déploiement, et les applications sur Internet. Ils sont détenus et gérés par des fournisseurs de services cloud tiers tels que Google Cloud.
- **Cloud privé** Les clouds privés sont créés, exécutés et utilisés par une seule organisation, généralement située sur site. Elles offrent plus de contrôle, de personnalisation et de sécurité des données, mais engendrent des coûts et des limites de ressources similaires aux environnements IT traditionnels.

- **Cloud hybride** Les environnements qui combinent au moins un environnement informatique privé (infrastructure IT traditionnelle ou cloud privé, y compris en périphérie) et un ou plusieurs clouds publics sont appelés "clouds hybrides". Ils vous permettent d'exploiter les ressources et services de différents environnements informatiques et de choisir celui qui convient le mieux aux charges de travail.

2.6 le Cloud Computing et OpenSource

Le cloud computing est un modèle informatique qui permet d'accéder à des ressources (serveurs, stockage, logiciels) via Internet, sans avoir à posséder d'infrastructure locale. Il offre flexibilité, sécurité et réduction des coûts.

L'open source, quant à lui, désigne des logiciels dont le code source est librement accessible et modifiable, favorisant la collaboration et l'innovation. Ensemble, le cloud et l'open source permettent aux entreprises de bénéficier de solutions puissantes, évolutives et économiques, tout en conservant une grande liberté technologique.

3. Mise en place du Cloud Computing (OpenNebula)

3.1 Introduction

OpenNebula est une plateforme open source permettant d'installer et de gérer un cloud privé ou hybride. Une fois OpenNebula déployé, l'utilisateur accède à une interface web qui lui permet de gérer facilement les machines virtuelles, les images, les réseaux, les utilisateurs et les règles d'accès.

3.2 Manuelle d'installation

Dans cette partie, nous abordons l'installation, la configuration et le fonctionnement de la plateforme OpenNebula, une solution open source de gestion d'infrastructures cloud. L'objectif est de mettre en place un environnement complet permettant le déploiement, la supervision et l'orchestration de machines virtuelles, ainsi que la gestion des ressources réseau et de stockage. Cette section détaille les principaux composants d'OpenNebula tels que le frontend, les nœuds de calcul, le scheduler et les drivers qui assurent la coordination et l'automatisation de l'ensemble de l'infrastructure cloud.

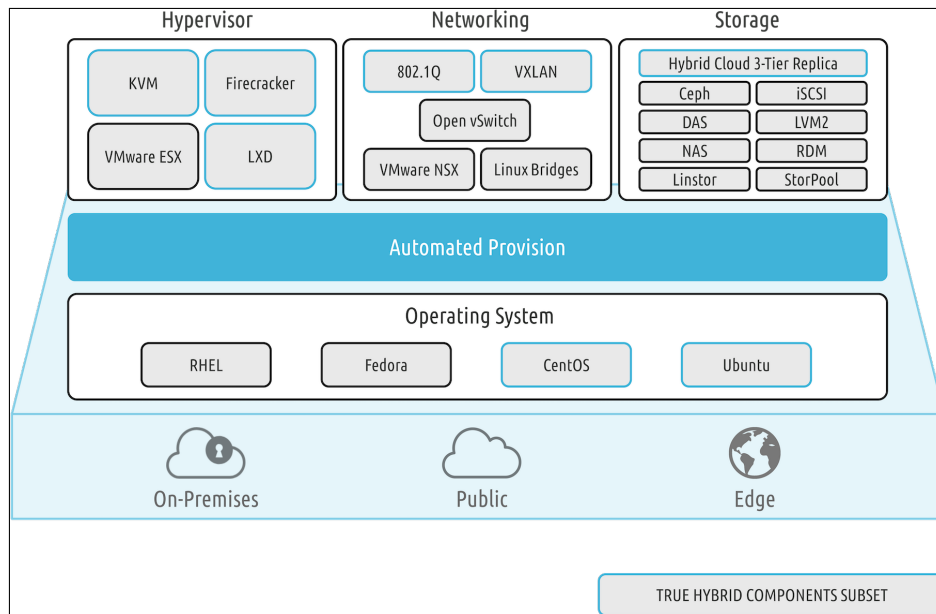


FIGURE 2 – L'architecture Open Nebula

1. Sudo apt update : Met à jour la liste des paquets disponibles.

```
ubuntu@ubuntu-VirtualBox: ~
ubuntu@ubuntu-VirtualBox:~$ sudo apt update
[sudo] Mot de passe de ubuntu :
Atteint :1 http://tn.archive.ubuntu.com/ubuntu focal InRelease
Réception de :2 http://tn.archive.ubuntu.com/ubuntu focal-updates InRelease [128
kB]
Réception de :3 http://security.ubuntu.com/ubuntu focal-security InRelease [128
kB]
```

2. sudo apt -y install gnupg wget apt-transport-https : Installer les dépendances nécessaires pour gérer les dépôts sécurisés et télécharger des fichiers.

```
ubuntu@ubuntu-VirtualBox:~$ sudo apt -y install gnupg wget apt-transport-https
Lecture des listes de paquets... Fait
Construction de l'arbre des dépendances
Lecture des informations d'état... Fait
gnupg est déjà la version la plus récente (2.2.19-3ubuntu2.5).
wget est déjà la version la plus récente (1.20.3-1ubuntu2.1).
```

3. wget -q -O- https://downloads.opennebula.org/repo/repo.key | sudo apt-key add - : Importe la clé GPG du dépôt OpenNebula pour vérifier les paquets (alternatives curl/gpg possibles).

```
ubuntu@ubuntu-VirtualBox:~$ curl -fsSL https://downloads.opennebula.io/repo/repo
2.key | sudo gpg --dearmor -o /etc/apt/trusted.gpg.d/opennebula.gpg
Le fichier « /etc/apt/trusted.gpg.d/opennebula.gpg » existe. Faut-il réécrire pa
r-dessus ? (o/N) o
```


4. `source /etc/os-release` : Charge les variables d'info système pour construire l'URL du dépôt adaptée à la version d'Ubuntu.
5. `echo "" | sudo tee /etc/apt/sources.list.d/opennebula.list` : Ajoute le dépôt officiel OpenNebula à APT pour pouvoir installer ses paquets.

```
ubuntu@ubuntu-VirtualBox:~$ source /etc/os-release
ubuntu@ubuntu-VirtualBox:~$ echo "deb https://downloads.opennebula.org/repo/6.7/
Ubuntu/$VERSION_ID stable opennebula" |
> sudo tee /etc/apt/sources.list.d/opennebula.list
deb https://downloads.opennebula.org/repo/6.7/Ubuntu/20.04 stable opennebula
```

6. `Sudo apt -y install mariadb-server` : Installer MariaDB (base de données requise pour OpenNebula).
7. `Sudo "mysql secure installation"` : Sécurise l'installation MariaDB (création mot de passe root, suppression comptes/tests, etc.).

```
ubuntu@ubuntu-VirtualBox:~$ sudo mysql_secure_installation

NOTE: RUNNING ALL PARTS OF THIS SCRIPT IS RECOMMENDED FOR ALL MariaDB
SERVERS IN PRODUCTION USE! PLEASE READ EACH STEP CAREFULLY!

In order to log into MariaDB to secure it, we'll need the current
password for the root user. If you've just installed MariaDB, and
you haven't set the root password yet, the password will be blank,
so you should just press enter here.

Enter current password for root (enter for none):
OK, successfully used password, moving on...

Setting the root password ensures that nobody can log into the MariaDB
root user without the proper authorisation.
```

8. `sudo apt -y install opennebula opennebula-sunstone opennebula-gate opennebula-flow` : Installe les paquets OpenNebula (moteur, interface Sunstone, composant d'hyperviseur Gate, Flow).

```
ubuntu@ubuntu-VirtualBox:~$ sudo apt install opennebula opennebula-sunstone open
nebula-gate opennebula-flow
Lecture des listes de paquets... Fait
Construction de l'arbre des dépendances
Lecture des informations d'état... Fait
Les paquets supplémentaires suivants seront installés :
```

9. `sudo systemctl enable opennebula opennebula-sunstone opennebula-gate opennebula-flow` : Active les services OpenNebula au démarrage du système.
10. `sudo systemctl start opennebula opennebula-sunstone` : Démarre les services OpenNebula (moteur et interface web).
11. `sudo systemctl status opennebula opennebula-sunstone` : Vérifie l'état des services (utile pour dépanner).
12. `sudo systemctl stop opennebula opennebula-sunstone` : Arrête proprement les services si nécessaire.

```

ubuntu@ubuntu-VirtualBox:~$ #systemctl enable opennebula opennebula-sunstone opennebula-gate
ubuntu@ubuntu-VirtualBox:~$ opennebula-flow
opennebula-flow : commande introuvable
ubuntu@ubuntu-VirtualBox:~$ #systemctl enable opennebula opennebula-sunstone opennebula-gate opennebula-flow
ubuntu@ubuntu-VirtualBox:~$ sudo systemctl start opennebula opennebula-sunstone
ubuntu@ubuntu-VirtualBox:~$ sudo systemctl status opennebula opennebula-sunstone
Unknown operation status.
ubuntu@ubuntu-VirtualBox:~$ sudo systemctl stop opennebula opennebula-sunstone

```

13. L'interface Open Nebula :



3.3 Manuelle d'utilisation

Après l'installation et la configuration d'OpenNebula, l'utilisateur accède à la plateforme à travers l'interface web Sunstone. Cette interface intuitive constitue le point central de gestion du cloud et permet d'administrer l'ensemble des ressources virtuelles. La manuelle d'utilisation présente les principales fonctionnalités offertes par Sunstone, notamment la supervision générale du cloud, la gestion des réseaux, des utilisateurs, des images, des hôtes et des machines virtuelles. Elle décrit la manière dont chaque composant peut être manipulé pour exploiter efficacement l'infrastructure et assurer le déploiement des services virtuels.

1. **Dashboard :** Le Dashboard constitue la page d'accueil d'OpenNebula et offre une vue d'ensemble sur l'état du cloud.

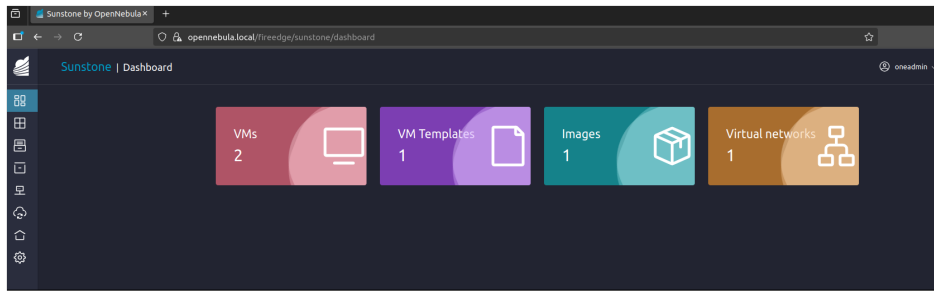


FIGURE 3 – Dashboard

2. **Les VLAN (virtual network)** : La section consacrée aux réseaux virtuels permet de créer et de gérer les VLANs utilisés par les machines virtuelles. Elle définit les adresses IP attribuées aux VM et organise la communication interne du cloud.

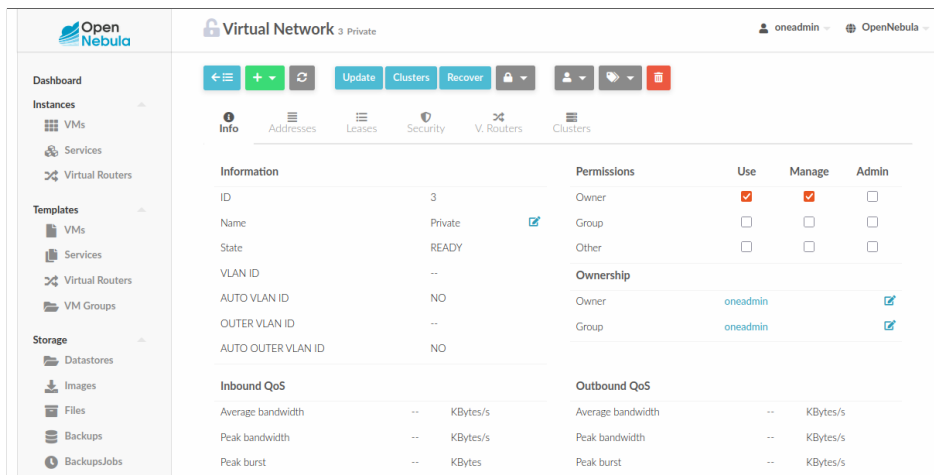


FIGURE 4 – Les VLANs

3. **La liste des utilisateurs** : Cette partie répertorie tous les utilisateurs enregistrés dans la plateforme OpenNebula. L'administrateur peut y ajouter de nouveaux comptes, gérer les groupes d'utilisateurs et définir leurs droits d'accès.

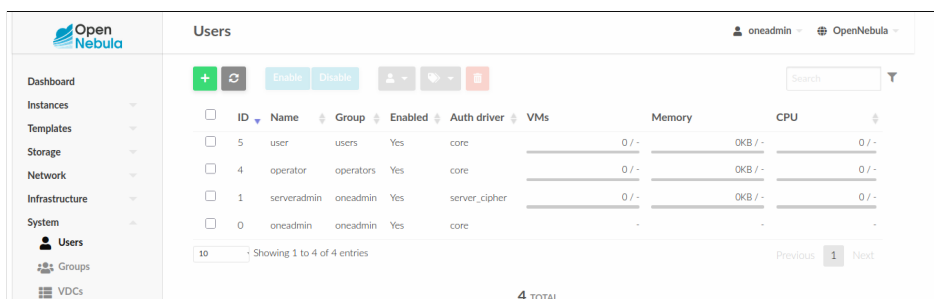


FIGURE 5 – Liste des utilisateurs

4. **Téléchargement de l'image** : La section dédiée aux images permet d'importer et de gérer les systèmes d'exploitation qui serviront à créer des ma-

chines virtuelles. L'utilisateur peut y téléverser des fichiers .iso ou des disques préconfigurés et les stocker dans le datastore.

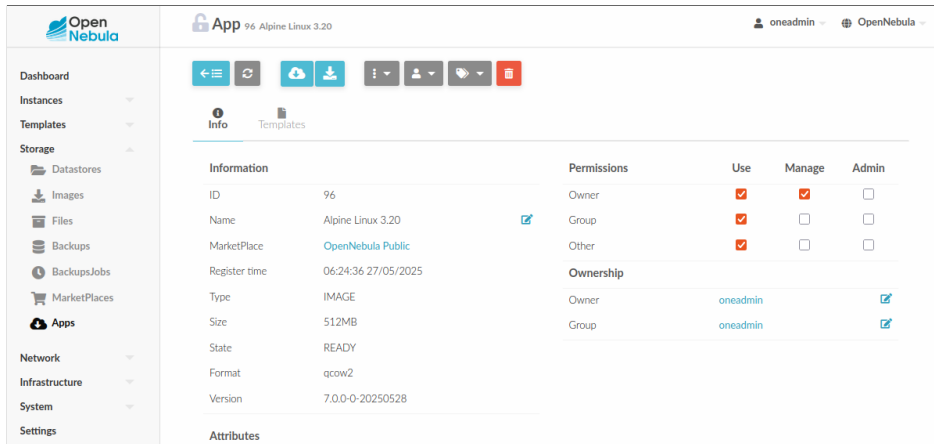


FIGURE 6 – Téléchargement de l'image

5. **Host** : La partie Hosts affiche la liste des serveurs physiques qui composent l'infrastructure du cloud. On peut y vérifier l'état de chaque hôte, ses capacités matérielles et les machines virtuelles qu'il exécute. Cette interface est essentielle pour répartir la charge de travail et superviser la disponibilité des ressources.

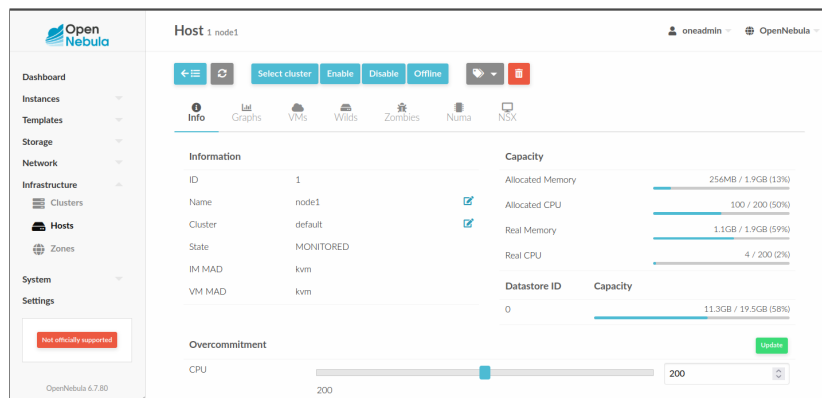


FIGURE 7 – Host

6. **Les listes ACLs** : Les ACLs permettent de contrôler précisément les permissions attribuées aux utilisateurs et aux groupes.

| ID | Applies to | Affected resources | Resource ID / Owned by | Allowed operations | Zone |
|----|-----------------|--|------------------------|---------------------|------|
| 21 | Group users | Virtual Machines | Group users | manage | All |
| 15 | Group operators | Virtual Machines, Images, VM Templates, Documents, Security Groups, Marketplace Apps | All | use, manage, create | All |
| 13 | Group operators | Datstores | All | use | 0 |
| 12 | Group operators | Virtual Networks | All | use | 0 |
| 11 | Group operators | Hosts | All | manage | 0 |
| 2 | All | Marketplaces, Marketplace Apps | All | use | All |
| 1 | All | Zones | All | use | All |

FIGURE 8 – ACLs

7. **VM** : La section des machines virtuelles regroupe l'ensemble des VM créées dans OpenNebula.

```

CONTEXT = [
  NETWORK = "YES",
  PASSWORD = "2nu4Jd4f6egmiv6TfoU96g==",
  SSH_PUBLIC_KEY = "$USER[SSH_PUBLIC_KEY]",
  USERNAME = "root" ]
CPU = "1"
DISK = [
  IMAGE_ID = "3" ]
GRAPHICS = [
  LISTEN = "0.0.0.0",
  TYPE = "VNC" ]
HOT_RESIZE = [
  CPU_HOT_ADD_ENABLED = "NO",
  MEMORY_HOT_ADD_ENABLED = "NO" ]
LOGO = "images/logos/alpine.png"
LXD_SECURITY_PRIVILEGED = "true"
MEMORY = "256"
MEMORY_RESIZE_MODE = "BALLOONING"
MEMORY_UNIT_COST = "MB"
NIC = [
  NETWORK = "Private",
  NETWORK_UNAME = "oneadmin",
  SECURITY_GROUPS = "0" ]
NIC_DEFAULT = [

```

FIGURE 9 – Machines virtuelles

8. **VM test** : La VM Test constitue un exemple d'instance virtuelle déployée avec succès sur la plateforme. Elle illustre le fonctionnement complet du système, depuis l'importation d'une image jusqu'à l'exécution de la machine.

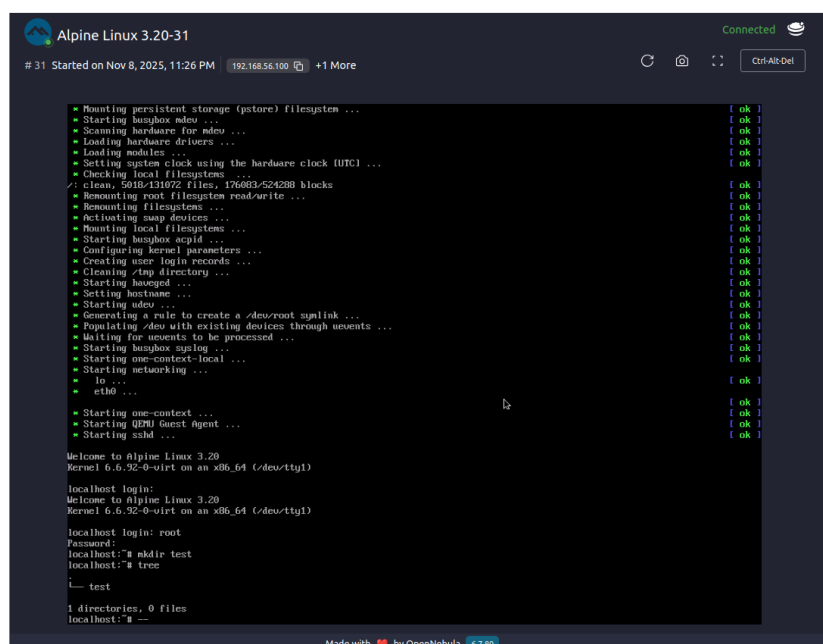


FIGURE 10 – Machines virtuelles

3.4 Manuelle de monitoring

- Prometheus permet de lister tous les endpoints surveillés dans l'infrastructure. Chaque ligne indique si la collecte des métriques est active, ainsi que l'état des exporteurs déployés sur le frontend et sur le nœud. Un statut UP confirme que Prometheus récupère correctement les données de monitoring.

| Targets | | | | | |
|--|-------|--|-------------|-----------------|-------|
| All Unhealthy Collapse All | | | | | |
| node (2/2 up) New alert | | | | | |
| Endpoint | State | Labels | Last Scrape | Scrape Duration | Error |
| http://localhost:9100/metrics | UP | instance="localhost:9100" job="node" | 11.438s ago | 232.7ms | |
| http://node1:9101/metrics | UP | instance="node1:9101" job="node" | 1.956s ago | 17.93ms | |
| prometheus (1/1 up) Show logs | | | | | |
| Endpoint | State | Labels | Last Scrape | Scrape Duration | Error |
| http://localhost:9090/metrics | UP | instance="localhost:9090" job="prometheus" | 2.223s ago | 13.25ms | |

FIGURE 11 – Prometheus interface

- Grafana du (frontend) affiche la consommation des ressources de la machine qui héberge OpenNebula. On y trouve les mêmes indicateurs que pour le nœud, tels que l'activité CPU, la charge système, la RAM utilisée, le swap et l'utilisation du système de fichiers.



FIGURE 12 – Grafana frontend

- Cette interface Grafana présente les détails du nœud. On y observe en temps réel l'utilisation du CPU, de la mémoire, du disque et du swap à travers des jauges et graphiques. Les panneaux affichent également la charge système, le trafic réseau et l'espace disque utilisé.

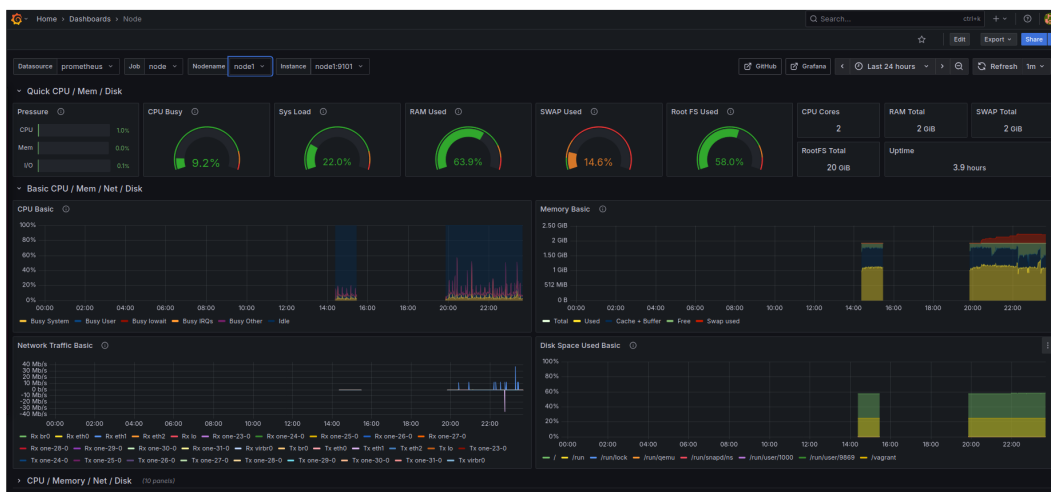


FIGURE 13 – Grafana node

Conclusion

Ce mini-projet a permis de mettre en place et d'exploiter un cloud privé basé sur OpenNebula, une solution open source flexible et performante. Grâce à l'installation du frontend, à la configuration des hôtes et à la gestion des ressources via Sunstone, nous avons montré qu'OpenNebula offre une administration simple et complète d'une infrastructure cloud. L'analyse de ses composants — réseaux virtuels, images, utilisateurs et machines virtuelles — confirme qu'il constitue une alternative efficace aux solutions propriétaires, tout en soulignant l'importance du cloud computing et des technologies open source dans les infrastructures modernes.