istic Informatique Électronique

Architecture Réseaux Entreprises (ARES)

Automatisation de l'infrastructure réseau

Brice - Ekane (brice.ekane@univ-rennes.fr)

ISTIC Rennes - France

2025-2026

git clone https://github.com/name/ares-2025.git

Plan du module

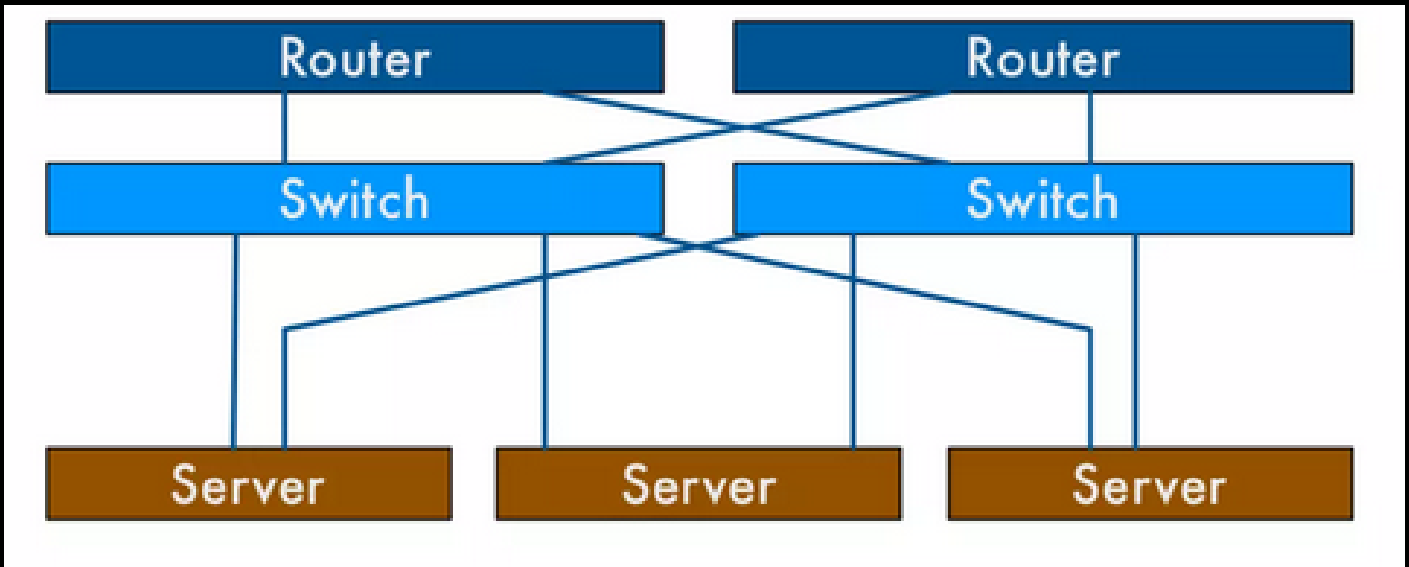
Objectifs pédagogiques

À l'issue du module, vous serez capables de :

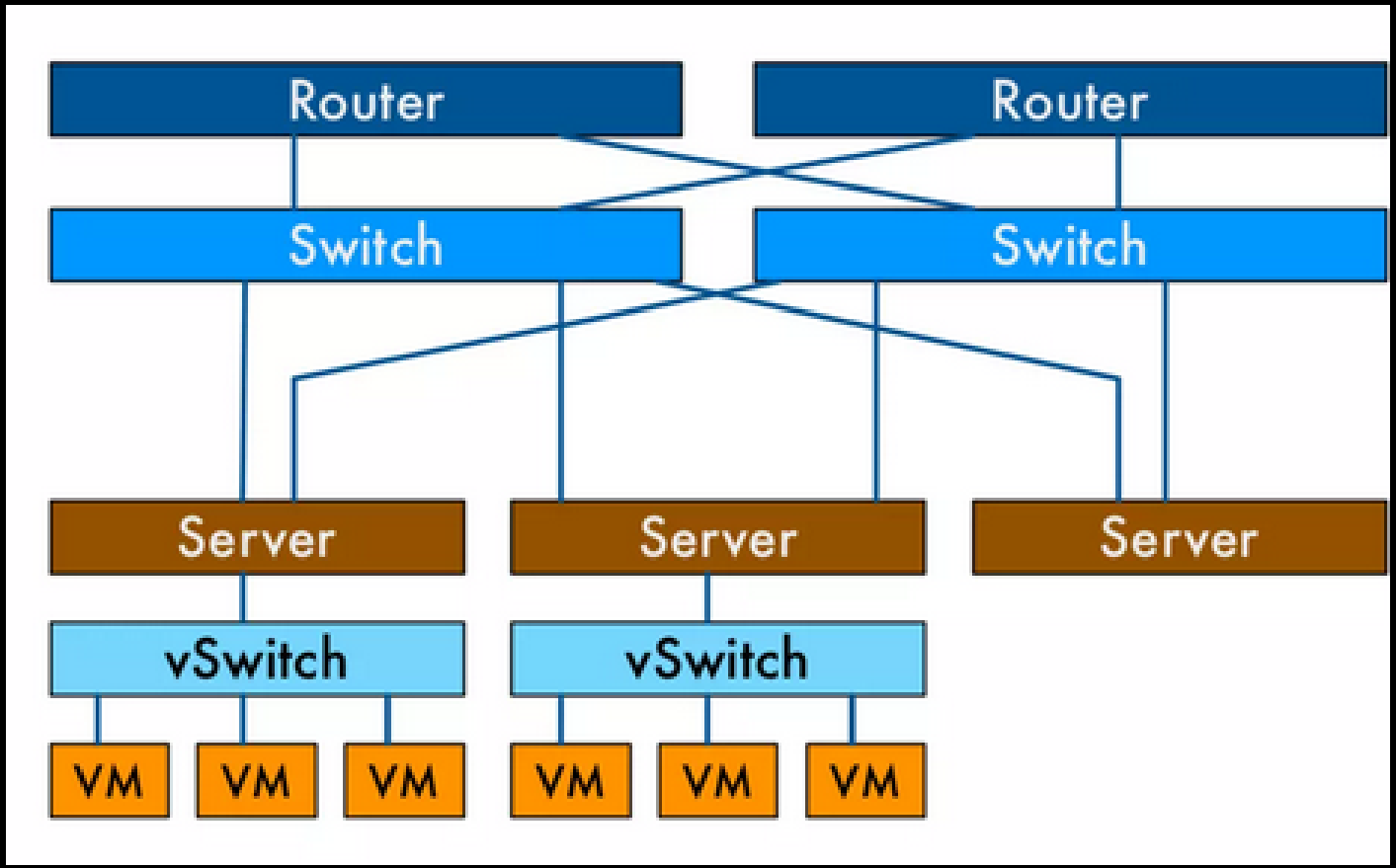
- Expliquer les enjeux du NetDevOps et de l'Infrastructure-as-Code.
- Utiliser les principaux outils d'automatisation réseau (Ansible, Terraform, Python, Cloud-init).
- Concevoir un pipeline complet : inventaire $\rightarrow$ génération $\rightarrow$ déploiement $\rightarrow$ validation.
- Appliquer les bonnes pratiques : GitOps, gestion des secrets, tests automatisés.

Pourquoi automatiser le réseau ?

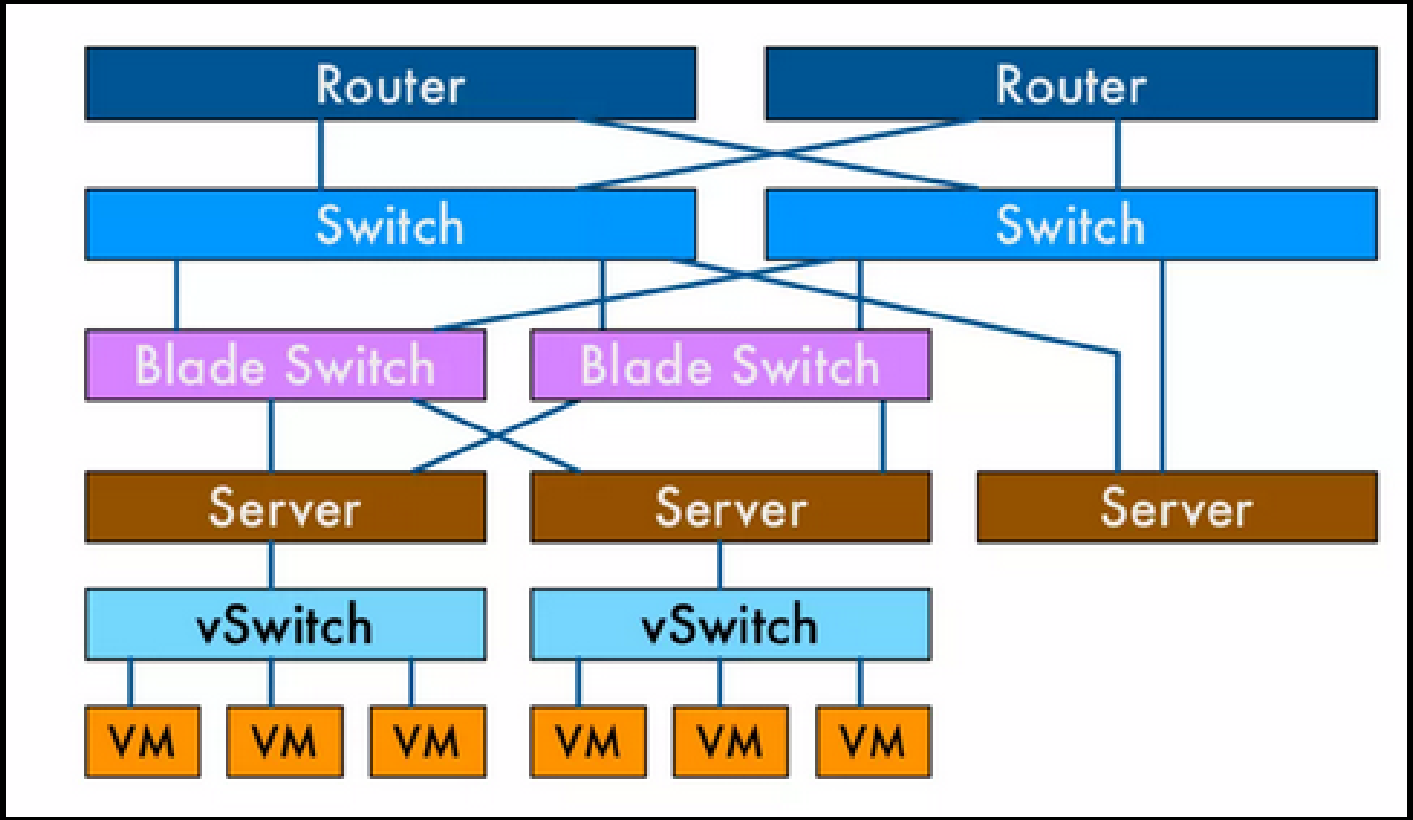
Le réseau



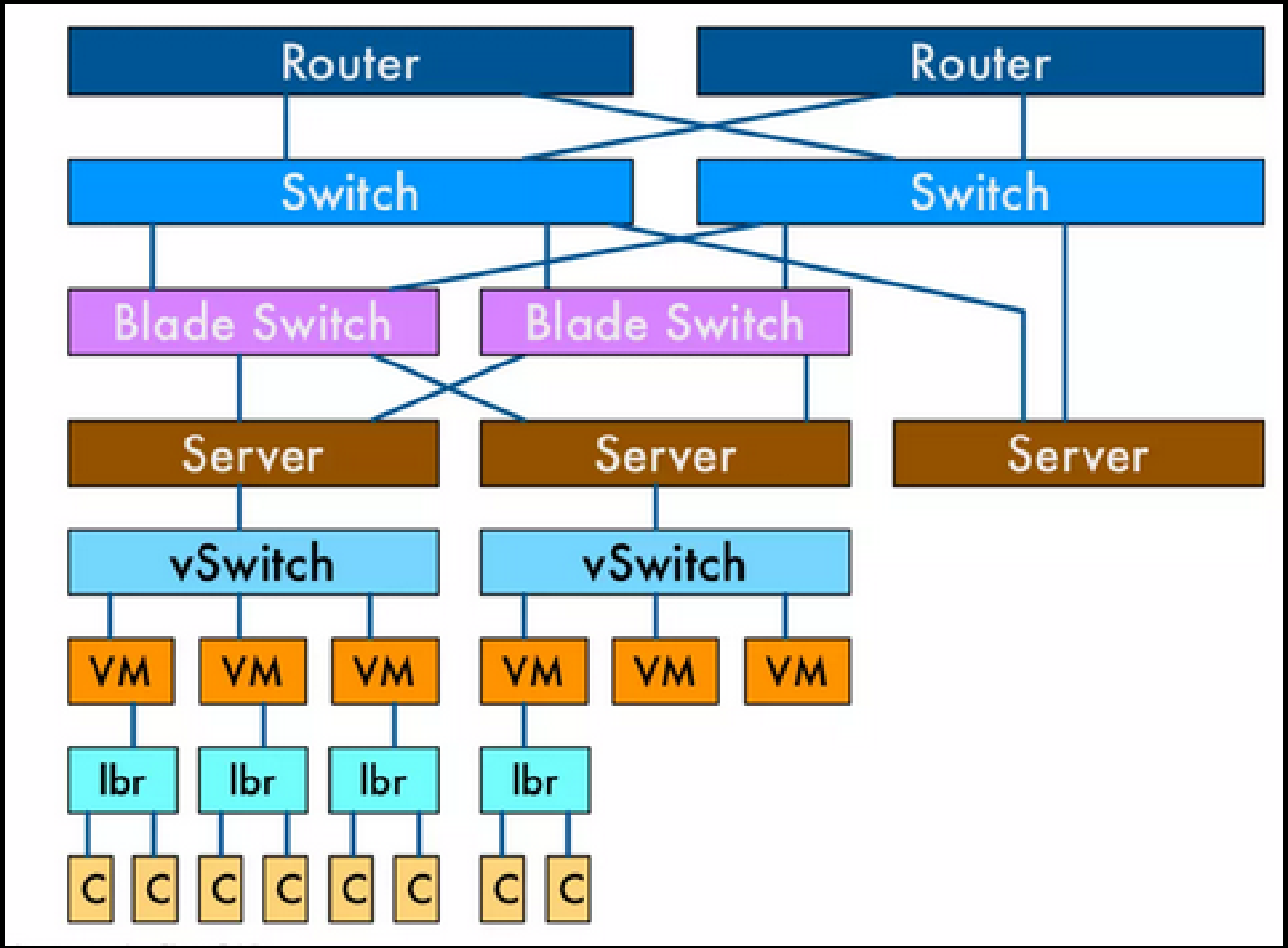
Le réseau


Router
Router
Switch
Switch
Server
Server
Server
vSwitch
vSwitch
VM
VM
VM
VM
VM
VM

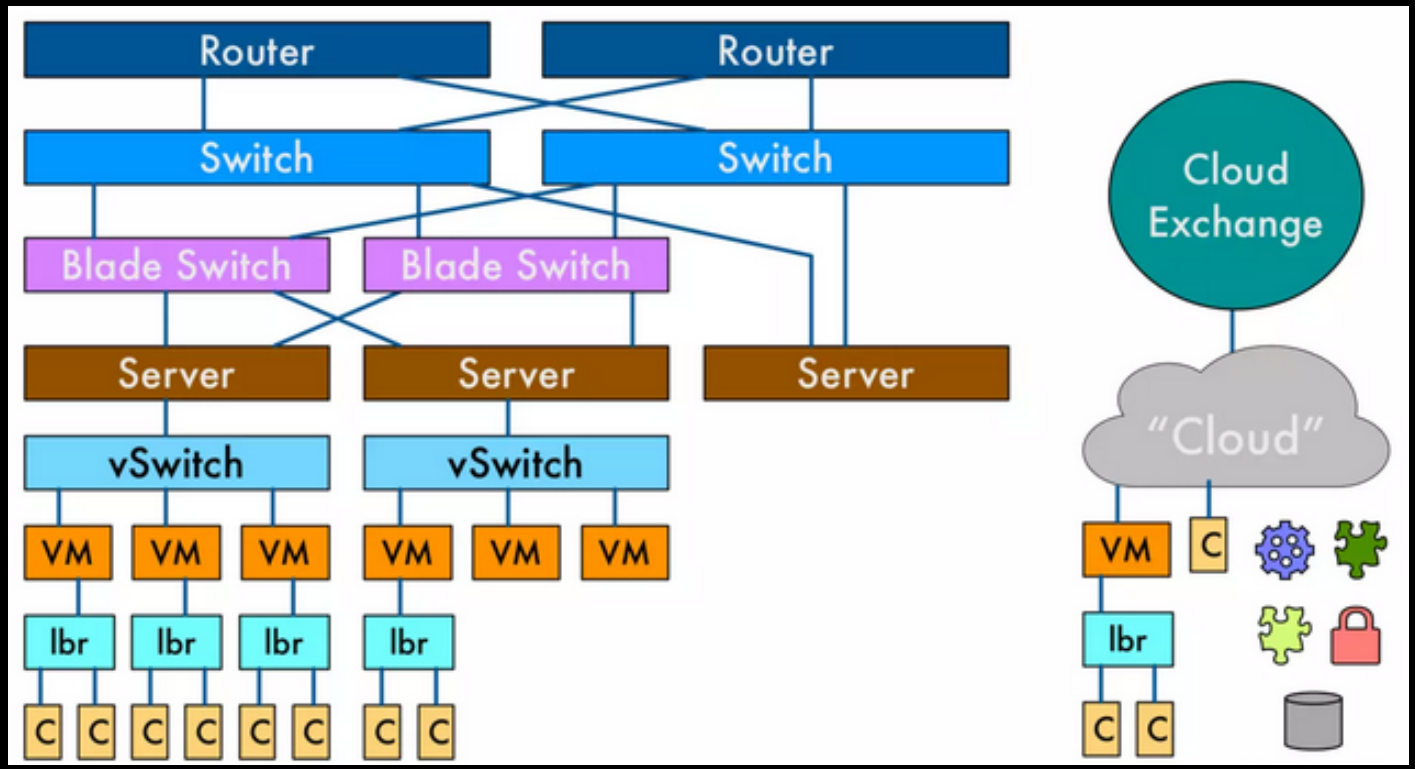
Le réseau


Router
Router
Switch
Switch
Blade Switch
Blade Switch
Server
Server
Server
vSwitch
vSwitch
VM
VM
VM
VM
VM
VM

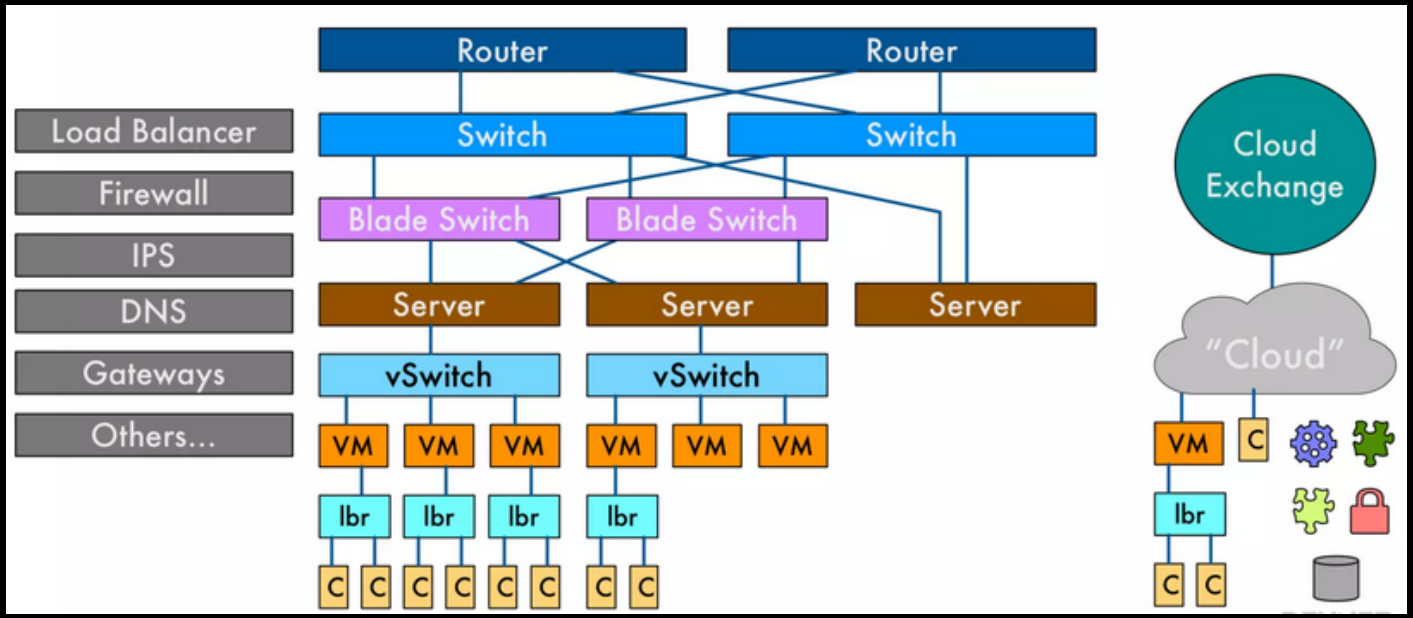
Le réseau


Router
Router
Switch
Switch
Blade Switch
Blade Switch
Server
Server
Server
vSwitch
vSwitch
VM
VM
VM
VM
VM
VM
lbr
lbr
lbr
lbr
C
C
C
C
C
C
C
C

Le réseau


Router
Router
Switch
Switch
Blade Switch
Blade Switch
Server
Server
Server
vSwitch
vSwitch
VM
VM
VM
VM
VM
VM
lbr
lbr
lbr
lbr
C
C
C
C
C
C
C
C
Cloud Exchange
"Cloud"
VM
C
lbr
C
C

Le réseau

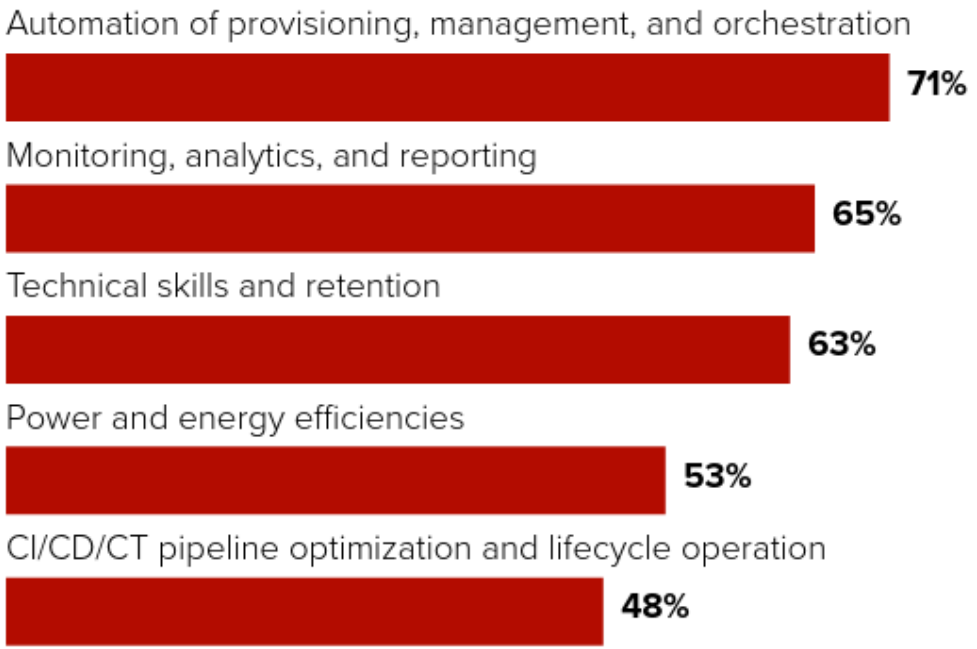

Load Balancer
Firewall
IPS
DNS
Gateways
Others...
Router
Router
Switch
Switch
Blade Switch
Blade Switch
Server
Server
Server
vSwitch
vSwitch
VM
VM
VM
VM
VM
VM
Ibr
Ibr
Ibr
Ibr
C
C
C
C
C
C
C
C
Cloud Exchange
"Cloud"
VM
C
Ibr
C
C

Impact des changements réseau

Chiffres clés issus d'études

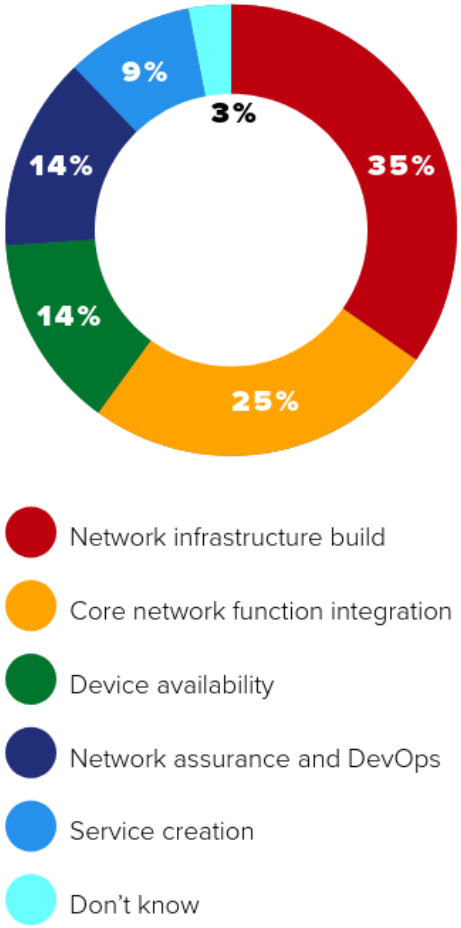
Année	Source	Population	Résultat
2016	Veriflow / Dim. Research	IT / Réseau	74% : changements impactent fortement plusieurs fois/an
2025	Digi International	Entreprises	84% : pannes réseau significatives en 2 ans

Figure 12: What areas have the greatest importance in your public 5G SA services?
(Instructions to the survey respondents: select the top 3)



Notes: n=100
Source: Heavy Reading |

Figure 11: What aspect has been the most challenging for delivering end-to-end public 5G SA services?



Notes: n=100
Source: Heavy Reading

Défis majeurs pour la 5G SA (Figure 11)

Opinions des opérateurs télécom (2023)

Classement	Défi principal	Réponses
1	Construction de l'infrastructure réseau (cloud-native, IaaS/PaaS, hybrid cloud)	35% global — jusqu'à 48% aux USA
2	Intégration des fonctions du cœur de réseau (5G Core)	25%
3	Assurance réseau et DevOps	14%

Configuration manuelle du réseau

Limites principales

- Conception, exploitation et maintenance encore largement manuelles.
- Processus lents et sujets aux erreurs.
- Génération d'incohérences et d'instabilités.
- Connexion répétitive aux équipements (CLI, interfaces, etc.).
- Difficulté à suivre l'évolution rapide des charges de travail modernes.

Source : Red Hat, `https://www.redhat.com/fr/topics/automation/what-is-network-automation`

Automatisation du réseau

Avantages principaux

- Suppression des étapes manuelles de configuration.
- Standardisation des processus et réduction des écarts.
- Déploiement rapide et à grande échelle.
- Réduction du temps moyen de résolution des incidents.
- Optimisation de l'équilibrage de charge et du basculement.

Source : Red Hat, `https://www.redhat.com/fr/topics/automation/what-is-network-automation`

Définition du NetDevOps

Définition

La convergence entre les pratiques DevOps et les opérations réseau.

Définition selon Red Hat

Le terme « NetOps » (ou « NetDevOps ») désigne une approche de l'exploitation des réseaux orientée vers la rapidité des déploiements et l'agilité dans les organisation numériques.

Principes clés du NetDevOps (Red Hat)

Fondements

1. **Automatisation et orchestration** : tâches répétitives et workflows gérés automatiquement.
2. **Infrastructure as Code (IaC)** : configurations décrites en code, versionnées et auditées.
3. **Validation continue** : tests et CI/CD appliqués au réseau.
4. **Source unique de vérité** : centralisation des inventaires et politiques.
5. **Collecte et analyse des données** : supervision, optimisation et détection proactive.
6. **Sécurité intégrée** : politiques automatisées et conformité vérifiée en continu.
7. **Agilité du réseau** : adaptation rapide aux environnements hybrides et multicloud.

Enjeux du NetDevOps

Objectif

Passer de l'interface CLI à une approche déclarative.

Enjeux du NetDevOps : les défis

Constat

- Réseaux modernes = hybrides, multicloud, distribués (datacenter, cloud, edge).
- Gestion manuelle (CLI, scripts ad hoc) :
  - Trop lente face aux besoins métiers.
  - Source d'erreurs humaines.
  - Complexe à sécuriser et auditer.

Enjeux du NetDevOps : les objectifs

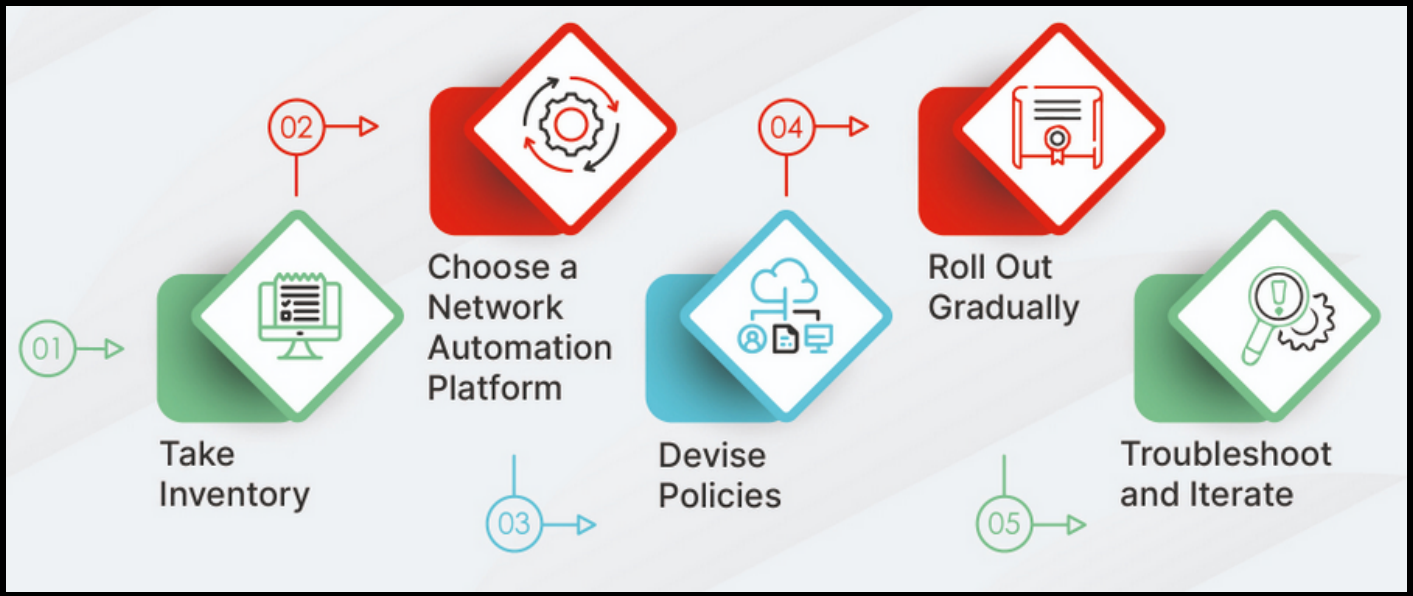
Valeur ajoutée

1. **Accélérer les déploiements** : mise en service plus rapide.
2. **Fiabiliser et standardiser** : moins d'erreurs, validation continue.
3. **Renforcer la sécurité** : politiques intégrées, réactions automatisées.
4. **Améliorer la collaboration** : convergence réseau, systèmes, DevOps.
5. **Réduire les coûts opérationnels** : tâches industrialisées, ressources optimisées.

Infrastructure-as-Code (IaC)

Principes clés

- L'état d'un équipement est décrit dans des fichiers, pas via des commandes manuelles.
- Basé sur le *desired state* : l'outil applique la configuration.
- L'outil garantit la conformité de l'état final.
- Configurations reproductibles et versionnées.



Source : https://www.fortinet.com/fr/resources/cyberglossary/network-automation

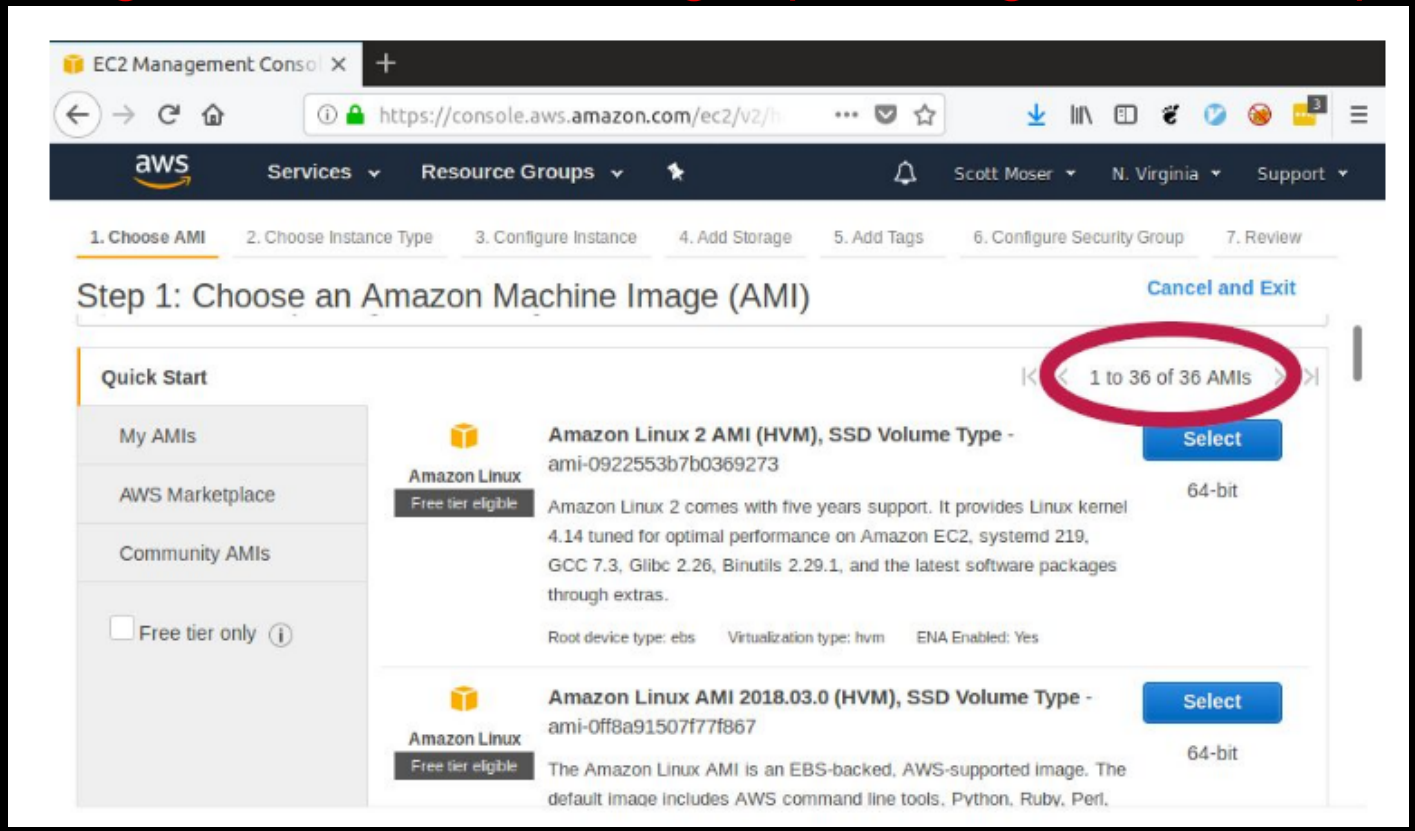
Cloud-init

Principes clés

- Initialisation automatique des VM/instances au premier boot.
- Configuration réseau, utilisateurs, clés SSH, packages.
- Utilisé dans OpenStack, AWS, Azure, etc.

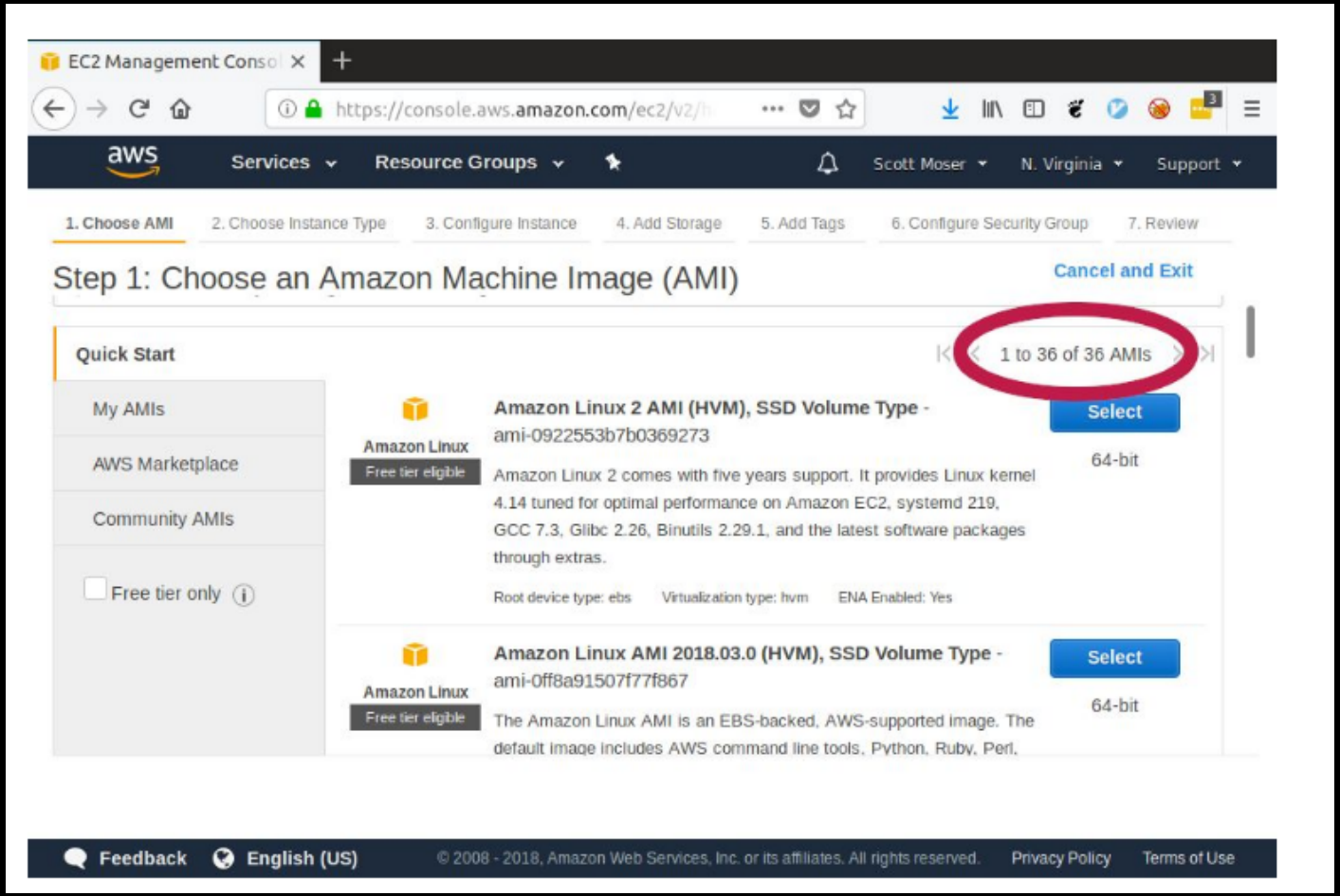
Pourquoi Cloud-init ?

evite d'avoir à gérer les miliers dimages préconfigurées, Exemple AWS



Pourquoi Cloud-init ?

permet de réduire le nombre dimages préconfigurées, Exemple AWS

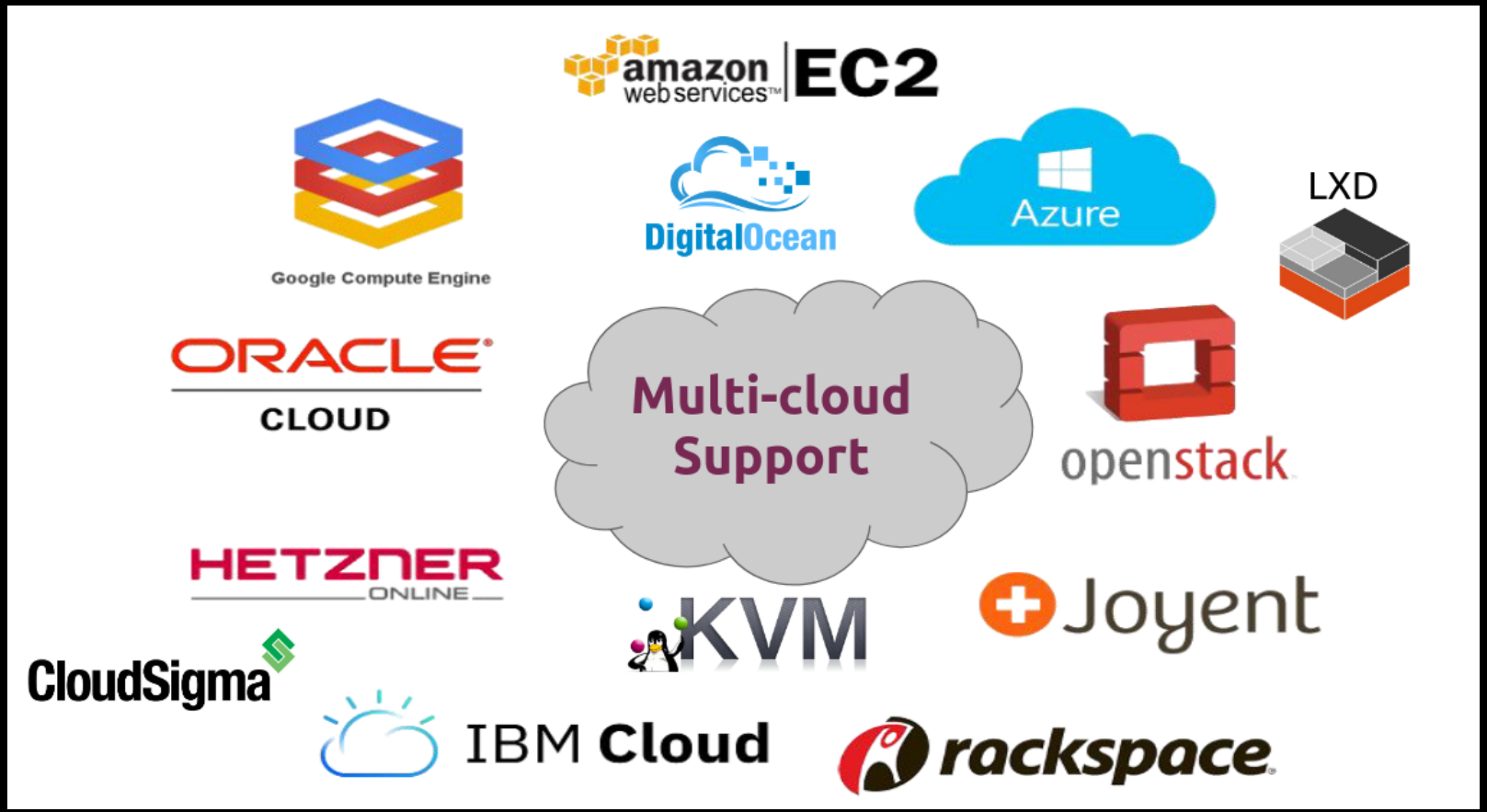


Cloud-init : Usages typiques

- Configurer le **réseau** (IP, DNS, routes).
- Créer des **utilisateurs** et leurs clés SSH.
- Installer des **packages** (nginx, python, ansible...).
- Exécuter des **scripts personnalisés**.

Cloud-init : Support Multi Os

Cloud-init : Support multi fournisseurs cloud



Exemple Cloud-init

```
#cloud-config
hostname: vm-demo
users:
  - name: student
    ssh-authorized-keys:
      - ssh-rsa AAAAB3Nz...
packages:
  - nginx
  - python3
```

Phases de `cloud-init`

Vue d'ensemble des étapes

- **Phase locale (local stage)**
  - Rôle : Récupérer les informations locales indispensables avant toute connexion réseau.
  - Exemple d'actions : Détection des sources de données présentes et initialisation minimale.
- **Phase réseau (network stage)**
  - Rôle : Mettre en place la connectivité réseau de l'instance.
  - Exemple d'actions : Activation des interfaces, attribution d'adresses IP, configuration DNS.
- **Phase de configuration (config stage)**
  - Rôle : Déployer la configuration système et préparer l'environnement utilisateur.
  - Exemple d'actions : Création de comptes, configuration SSH, installation de paquets, gestion des services.
- **Phase finale (final stage)**
  - Rôle : Exécuter les derniers réglages pour rendre l'instance opérationnelle.
  - Exemple d'actions : Lancement de scripts finaux, démarrage des services, notifications éventuelles.
- **Redémarrage optionnel**
  - Rôle : Redémarrer l'instance si la configuration l'exige.
  - Exemple d'actions : Redémarrage automatique afin d'appliquer certains changements.

Cloud-init : Exemple

```
1  #cloud-config
2  # **** Phase locale (local stage) ****
3  hostname: ares-instance
4  fqdn: ares-instance.local
5  manage_etc_hosts: true
6
7  # Préparation d'un disque supplémentaire
8  mounts:
9    - [ /dev/vdb, /mnt/ares/shared, "auto", "defaults,nofail", "0", "2" ]
10
11 # ***** Phase réseau (network stage) ****
12 network:
13   version: 2
14   ethernets:
15     ens3:
16       dhcp4: true
17       dhcp6: false
18
19 # ******* Phase de configuration (config stage) ********
20 users:
21   - name: etudiant
22     groups: sudo
23     shell: /bin/bash
24     sudo: ['ALL=(ALL) NOPASSWD:ALL']
25     ssh-authorized-keys:
26       - ssh-rsa ma super clé publique rsa
27
```

Cloud-init : Exemple (2/2)

```yaml

packages:
  - htop
  - curl
  - git

write_files:
  - path: /etc/motd
    permissions: '0644'
    content: |
      Bienvenue sur cette instance configurée avec cloud-init !
# ==========================
# Phase finale (final stage)
# ==========================
runcmd:
  - systemctl enable ssh
  - systemctl restart ssh
  - echo "Instance prête !" > /home/ares/log/ready.txt

# ==========================
# Redémarrage optionnel
# ==========================
power_state:
  mode: reboot
  message: "Redémarrage automatique pour appliquer la configuration"
  timeout: 30
  condition: True
```

Ressources et lectures recommandées

- Cloud-init (documentation officielle) https://app.readthedocs.org/projects/cloudinit/downloads/pdf/latest/
- Guide RHEL / Red Hat sur Cloud-init https://docs.redhat.com/fr/documentation/red_hat_enterprise_linux/9/pdf/configuring_and_managing_cloud-init_for_rhel_9/red-hat-support-for-cloud-init_cloud-content
- Présentation « The cross-cloud magic sauce » (Canonical) (quelques slides issues de la présentation) https://events19.linuxfoundation.org/wp-content/uploads/2017/12/cloud-init-The-cross-cloud-Magic-Sauce-Scott-Moser-Chad-Smith-Canonical.pdf
- Slides sur les machines virtuelles https://mcorbin.fr/pdf/slides/virtual_machines.pdf
- Manuel RHEL 8 : gestion de Cloud-init https://docs.redhat.com/en/documentation/red_hat_enterprise_linux/8/pdf/configuring_and_managing_cloud-init_for_rhel_8/Red_Hat_Enterprise_Linux-8-Configuring_and_managing_cloud-init_for_RHEL_8-en-US.pdf
- Actes de conférence « Autoinstall / cloud provisioning » https://indico.mathrice.fr/event/580/attachments/1084/1598/Autoinstall.pdf

Ansible : le couteau suisse du réseau

Principes clés

- **Agentless** : pas d'agent sur les équipements (SSH/API).
- **Lisible** : YAML, accessible même aux non-développeurs.
- **Modulaire** : support multi-constructeurs.
- **Intégrable** : compatible CI/CD.

sera vue en détail dans TLC, le TP sur ansible est un TP à trous

Ansible : installation

```
1       sudo apt-get update && sudo apt install ansible
```

Ansible : inventaire

```
1 [ares@alpine ~]$ mkdir ansible ; cd ansible
2 [ares@alpine ~]$ vim inventory
3 [router1]
4 192.168.124.11
```

Ansible : playbook

```
1 - name: Création VLAN 100
2   hosts: router1
3   tasks:
4     - cisco.ios.ios_config:
5         lines: name VLAN 100
6         parents: vlan 100
```

Ansible : play

```
1  # Nomage
2  - name: Création VLAN 100
3  # Selection des hôtes
4    hosts: router1
5  # Tâches
6    tasks:
7  # Utilisation des modules
8      - cisco.ios.ios_config:
9          lines: name VLAN 100
10         parents: vlan 100
```

Ansible : execution

```
1      [ares@alpine ~] ansible-playbook play.yml
```

Ansible : execution en mode dry-run

```
[ares@alpine ~] ansible-playbook play.yml --check
```

Ansible : concepts et notions avancés

Rendez-vous sur le cours de TLC !

Ressources Ansible

- https://people.redhat.com/mlessard/mtl/presentations/apr2018/AnsibleF5WorkshopVF.pdf
- **Documentation officielle Ansible** https://docs.ansible.com/
- **Collection Ansible Cisco IOS** (modules réseaux) https://docs.ansible.com/ansible/latest/collections/cisco/ios/
- **Ansible Galaxy** (modules et rôles communautaires) https://galaxy.ansible.com/
- **Exemples de playbooks Ansible** (GitHub officiel) https://github.com/ansible/ansible-examples

Terraform : Principes

Principes clés

- Outil IaC orienté gestion de ressources.
- Utilise des *providers* pour interagir avec des API.

Caractéristiques de Terraform

Principes clés

- Utilise des **plugins** appelés *Providers* pour interagir avec les services cloud.
- Conçu pour fonctionner avec différents **fournisseurs de cloud** (AWS, Azure, GCP, etc.).
- Aussi avec libvirt.
- Possibilité de créer ses propres *providers* en Go.
- Ciblé principalement sur le **provisionnement d'infrastructure**.

Terraform : Cas d'usage

Exemples

- Cloud : déploiement de VPC, sous-réseaux, tables de routage.
- SDN : configuration de switchs virtuels OVS via un contrôleur.

Terraform: Installation

```
1  sudo apt-get update && sudo apt-get install -y gnupg software-properties-common curl
2  curl -fsSL https://apt.releases.hashicorp.com/gpg | sudo apt-key add -
3  sudo apt-add-repository "deb [arch=amd64] https://apt.releases.hashicorp.com \
4       $(lsb_release -cs) main"
5  sudo apt-get update
6  sudo apt-get install terraform
```

maintenant payant! opentofu est le fork de terraform pour la version opensource

```
1       sudo apt-get install opentofu
```

Terraform : Configuration

```
terraform {
  required_providers {
    libvirt = {
      source  = "dmacvicar/libvirt"
      version = "0.6.14"
    }
  }
}

provider "libvirt" {
  uri = "qemu:///system"
}

```

Terraform : Configuration

```
# Per-VM volumes cloned from the base
resource "libvirt_volume" "vm2_disk" {
  name           = "vm2.qcow2"
  pool           = "default"
  base_volume_id = libvirt_volume.alpine318_base.id
  format         = "qcow2"
}

resource "libvirt_volume" "big_vms_disk" {
  for_each       = toset(["vm1", "vm3", "vm4"])
  name           = "${each.key}.qcow2"
  pool           = "default"
  base_volume_id = libvirt_volume.alpine318_base.id
  format         = "qcow2"
}

```

Terraform : Execution

```
1       #Configurer le provider
2       terraform init
3       #Créer les ressources
4       terraform apply
5       #Détruire les ressources
6       terraform destroy
7
```

Ressources opentofu/terraform

- https://opentofu.org/docs/

Netmiko

Principes clés

- Librairie Python pour simplifier l'accès SSH.
- Gère l'envoi de commandes et l'analyse des sorties.
- Cas d'usage : scripts Python ad-hoc.

netmiko : Exemple

```
1  from netmiko import ConnectHandler
2
3  cisco_device = {
4      'device_type': 'cisco_ios',
5      'ip': '192.168.1.1',
6      'username': 'admin',
7      'password': 'password',
8  }
9
10 net_connect = ConnectHandler(**cisco_device)
11 output = net_connect.send_command('show processes cpu')
12 print(output)
13 net_connect.disconnect()
```

Ressources Netmiko

Documentation et guides

- PyPI – page officielle : documentation, versions, installation
- Guide Cisco + Netmiko : tutoriel complet avec exemples appliqués
- Exemples GitHub : cas pratiques (commandes, configuration, transferts, parsing)

Pipeline : Inventaire

Principe

Définir les équipements (IP, OS, rôle). Exemples : NetBox, fichiers YAML.

Pipeline : Génération de configuration

Principe

Générer dynamiquement les configurations à partir de variables. Exemple : Jinja2.

Pipeline : Déploiement

Principe

Appliquer automatiquement les configurations générées. Exemple : Ansible.

Pipeline : Test et validation

Principe

Vérifier que le réseau correspond à l'état attendu. Exemples : Batfish, tests end-to-end.

Bonnes pratiques : Git

Principes clés

- Git est la source de vérité.
- Chaque commit doit être clair et traçable.
- Utiliser des branches pour isoler.
- Revue de code avant fusion.

Bonnes pratiques : Sécurité des secrets

Principes clés

- Ne jamais stocker de secrets en clair dans Git.
- Utiliser un gestionnaire de secrets :
  - **Ansible Vault**.
  - **HashiCorp Vault**.
- Seul l'outil d'automatisation doit y accéder.

Validation et tests : Batfish

Principes clés

- Valide la config sans impacter la prod.
- Construit un modèle mathématique du réseau.
- Permet de poser des questions : « A peut-il joindre B ? ».

Validation et tests : Pytest

Principes clés

- Framework de tests classique en Python.
- Validation de scripts et configs d'automatisation.

CI/CD pour le réseau (GitOps)

Principes clés

- Automatiser le cycle de vie complet des changements.
- Un commit déclenche un pipeline CI/CD :
  - **CI** : vérification syntaxique, tests statiques.
  - **CD** : déploiement automatique après validation.
- Outils courants : GitLab CI/CD, Jenkins.

Synthèse et ressources

- **Synthèse** : Le NetDevOps n'est pas qu'une question d'outils, c'est un changement de culture qui permet de gérer les réseaux de manière plus efficace, fiable et sécurisée.
- Jason Edelman, Scott S. Lowe, Matt Oswalt. Network Programmability and Automation: Skills for the Next-Generation Network Engineer. O'Reilly Media, 2016. ISBN : 978-1-4919-3359-9.