Introduction au DevOps

Introduction

Jolan PHILIPPE

12 Septembre 2025

Université d'Orléans

Hello world

Jolan Philippe, Maitre de conférence
Université d'Orléans, équipe LMV
Bureau C02 (dans la tour).
(λx.λy.x@y) jolan.philippe1 univ-orleans.fr

Travaux de recherche: vérification formelle de

- Programmes parallèles distribués
- Transformation de modèles dans les SI
- Déploiement d'infrastructure

Plus de détails sur `https://jolanphilippe.github.io/`

Ce qu'on va aborder dans ce cours

La philosophie DevOps

- C'est quoi Dev ? C'est quoi Ops ?
- C'est quoi DevOps ?
- Un context particulier : le Cloud

Infrastructure-as-code

- Conteneurisation avec Docker
- Provisionnement avec Terraform
- Configuration et gestion avec Ansible
- Orchestration avec Kubernetes

DevOps késako ?

Cycle de développement

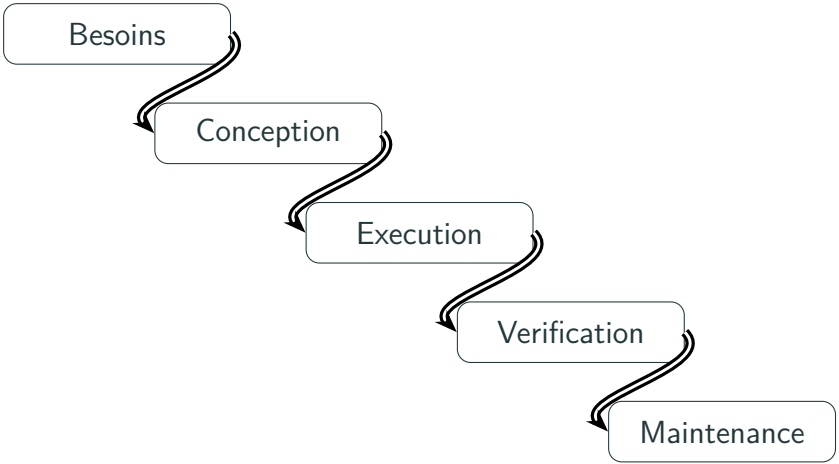


Figure 1: Développement logiciel agile

Personne ne code sans bug

(surtout avec des modifications de code régulières)

Des bugs, c'est une certitude

Windows 10 - Update causant la suppression de fichier

- **Problème**: patch effaçant des fichiers utilisateurs lors de redirections de dossiers
- **Prévention**:
  - Automatiser les tests, notamment en mockant la migration
  - Déploiement progressif avec surveillance d'état du système

Des bugs, c'est une certitude

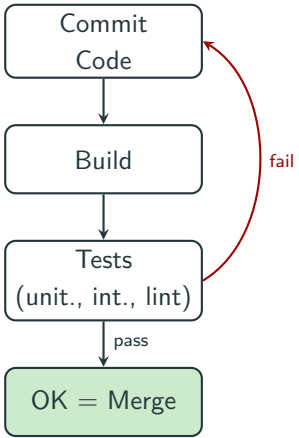
Firefox - Expiration d'un certificat désactivant les extensions

- **Problème**: expiration d'un certificat de signature d'extensions
- **Prévention**:
  - Automatiser des tests réguliers avec utilisation d'une horloge
  - Surveillance automatisé des dates d'expirations avec des patchs automatiques

Intégration continue et tests automatisés

Qu'est-ce que la CI ?

- Fusionner le code **très fréquemment** (plusieurs fois/jour).
- Chaque commit déclenche **build + tests automatiques**.
- But : **détecter tôt** les erreurs et stabiliser le produit.



Prépare la suite : tests au déploiement.

Intégration continue et tests automatisés

Pourquoi automatiser les tests ?

- **Réduire les régressions** liées aux patchs/maintenance.
- **Accélérer le feedback** aux développeurs.
- **Standardiser la qualité** (critères objectifs dans la pipeline).
- **Déployer plus souvent** avec confiance (vers CI/CD).

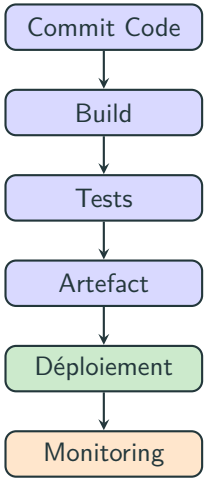
Tester au déploiement avec Jenkins

Jenkins

- **But :** valider automatiquement chaque changement de code
- **Déclencheurs :** webhooks Git (push/PR)
- **Boucle de feedback :** rapide, standardisée, versionnée.

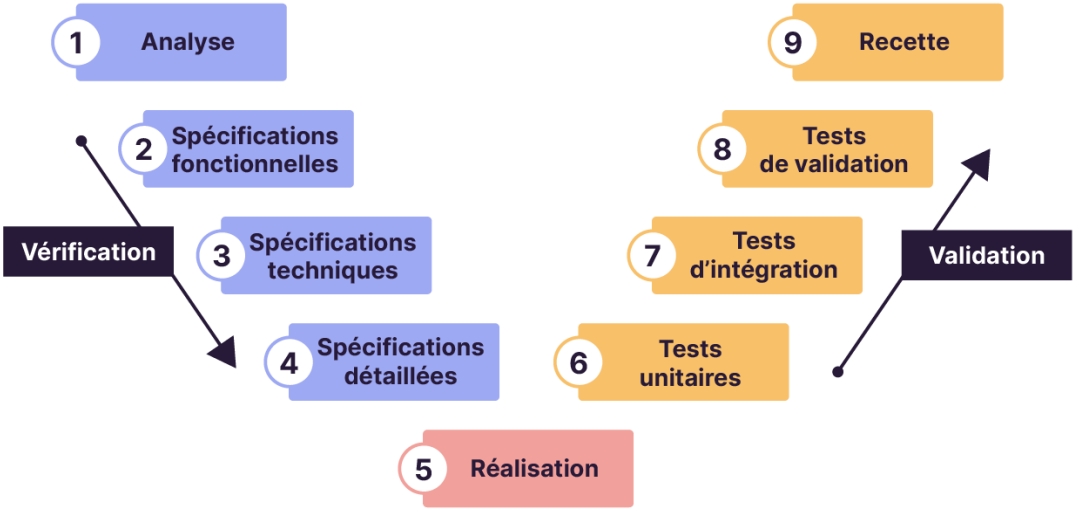
Automatiser la CI

- **Build** reproductible
- **Tests** automatisés (unitaires, intégration, lint, ...)
- **Qualité** : seuils (tests, couverture, lint)
- **Artefacts** : packaging, signature, dépôt binaire
- **Rapports** : notifications (chat/mail)



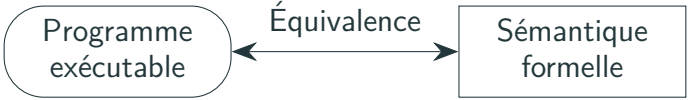
Jenkins orchestre chaque étape du pipeline.

Le cycle en V


1 Analyse
2 Spécifications fonctionnelles
3 Spécifications techniques
4 Spécifications détaillées
5 Réalisation
6 Tests unitaires
7 Tests d'intégration
8 Tests de validation
9 Recette
Vérification
Validation

Correction par construction

Correction à posteriori



Program testing can be used to show the presence of bugs, but never to show their absence. - **E. W. Dijkstra**

Le rôle de l'Ops

Qu'est-ce que Ops ?

- La partie **Operations** du cycle DevOps.
- Responsable de la **mise en production**, du **monitoring**, de la **sécurité**.
- Objectif : **assurer la disponibilité et la fiabilité** du service.

Missions clés

- Déploiement et exploitation des applications.
- Supervision, alertes, gestion des incidents.
- Automatisation des tâches d'infra (Infra as Code, scripts).

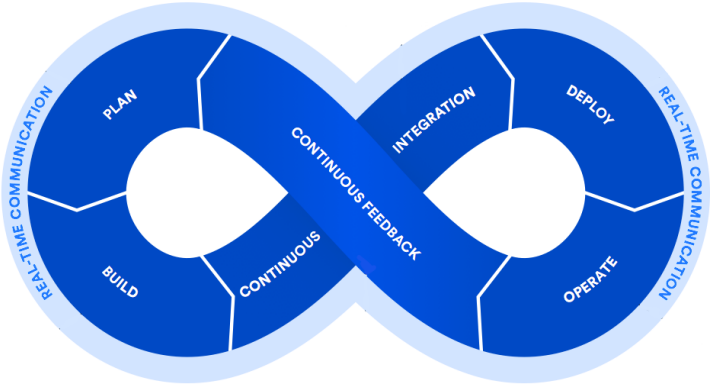
Déploiement continu

Pourquoi automatiser le déploiement ?

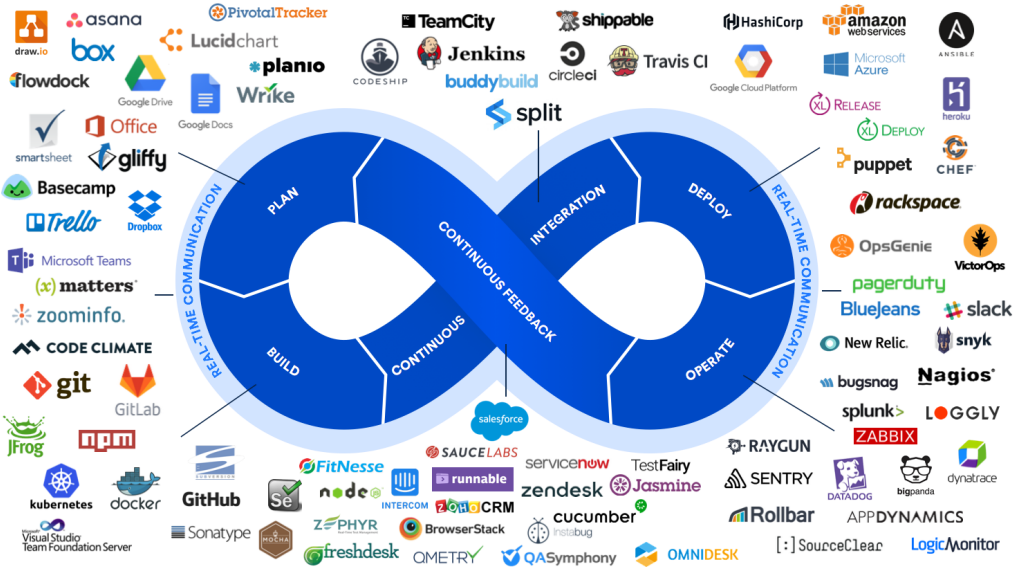
- **Réduire les erreurs humaines** liées aux procédures manuelles.
- **Déployer rapidement et fréquemment** en production.
- **Uniformiser** les environnements.
- **Sécuriser les mises en production** avec rollback rapide.

Le CD rend le déploiement **fiable, répétable et rapide**, en s'appuyant sur l'automatisation et l'intégration avec la CI.

Mission du DevOps : Intégration continue et déploiement continu (CI/CD)



Mission du DevOps : Intégration continue et déploiement continu (CI/CD)



Roadmap

https://roadmap.sh/devops

Infrastructure-as-code

Architecture orientée services (SOA)

Définition

- **Approche d'architecture logicielle** organisée autour de **services**.
- Un service = une **fonctionnalité autonome** exposée via une interface standard.
- Communication via des protocoles réseau (SOAP, REST, gRCP/RMI, messages).

Architecture orientée services (SOA)

Définition

- **Approche d'architecture logicielle** organisée autour de **services**.
- Un service = une **fonctionnalité autonome** exposée via une interface standard.
- Communication via des protocoles réseau (SOAP, REST, gRCP/RMI, messages).

Principes

- **Réutilisabilité** : services mutualisés dans plusieurs applications.
- **Interopérabilité** : indépendants des langages et plateformes.
- **Faible couplage** : évolution indépendante des services.
- **Composition** : services combinés pour former des processus métiers.

SOA dans le Cloud

Utilisation dans le cloud

- Les services sont **déployés et consommés à la demande**.
- Mise en œuvre via des **APIs exposées en ligne**.
- Intégration fréquente avec des **microservices** et du **serverless**.
- Supportée par des **plateformes cloud** (*providers*) : AWS, Azure, GCP.

SOA dans le Cloud

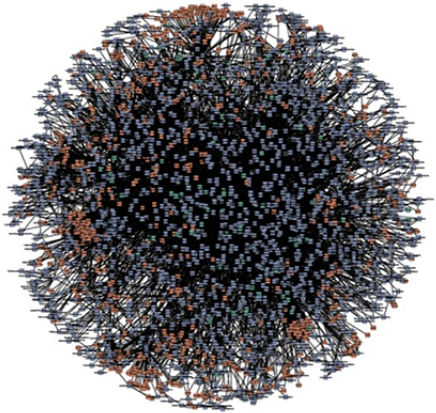
Utilisation dans le cloud

- Les services sont **déployés et consommés à la demande**.
- Mise en œuvre via des **APIs exposées en ligne**.
- Intégration fréquente avec des **microservices** et du **serverless**.
- Supportée par des **plateformes cloud** (*providers*) : AWS, Azure, GCP.

Avantages pour le cloud

- **Élasticité** : montée en charge dynamique des services.
- **Scalabilité mondiale** : services accessibles partout.
- **Agilité accrue** : déploiement rapide de nouveaux services.
- **Coût à l'usage** : facturation en fonction de la consommation.

Réalité: Des Deathstars



amazon.com

NETFLIX

Déployer et maintenir des applications

Que faut-il faire ?

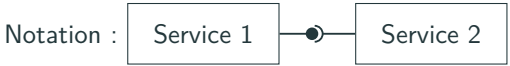
- Préparer **ses services** pour fonctionner **de façon atomique**
- Préparer **ses ressources** (nœuds physiques/virtuels, VM/containers, réseau, règles de sécurité, secrets/identités).
- **Installer, configurer et démarrer** les services sur ces ressources .
- **Adapter l'infrastructure** aux événements : autoscaling, auto-healing, etc.

Déployer et maintenir des applications

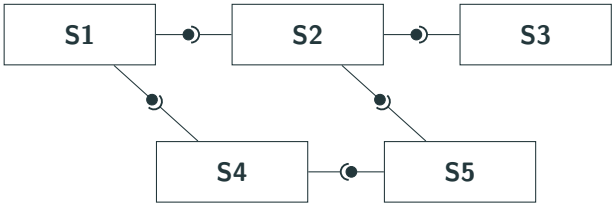
Challenges

- **Gérer les dépendances** : induit un ordre partiel sur les opérations
- **Déployer sans faute** : Avoir des opérations de déploiement atomiques (déployer, mise à jour, supprimer) sûres.
- **Robustesse** : tolérance aux pannes, passage à l'échelle, rollbacks rapides, etc.
- **Sécurité** : secrets/identités, durcissement, moindre privilège, conformité.
- **Impact** : coûts, empreinte carbone, dette opérationnelle, incidents clients.

Gérer les dépendances



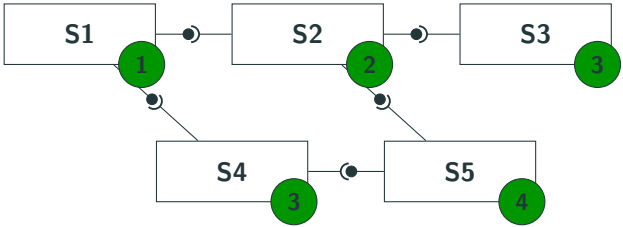
Dans ce cas, Service 1 expose son API, qui est utilisée par Service 2.
Service 1 fournit des informations, un service, etc. via son port.
On parle de *provide port* pour Service 1 et de *use port* pour Service 2



Dépendances

- **S2** dépend de **S1**
- **S3** dépend de **S2**
- **S4** dépend de **S1** et **S5**
- **S5** dépend de **S2**

Déployer sans faute



Relation d'ordre partiel strict

- Deploy **S1** > Deploy **S2**
- Deploy **S2** > Deploy **S3**
- Deploy **S2** > Deploy **S5**
- Deploy **S4** > Deploy **S1**
- Deploy **S4** > Deploy **S5**

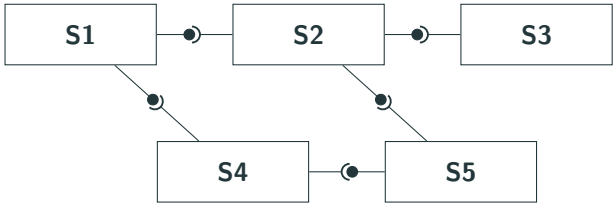
Exemple de trace: Deploy **S1**; Deploy **S2**; Deploy **S5**; Deploy **S4**; Deploy **S3**;

Rappel

- **Irréflexivité** : $\forall a \in E,\ \neg(a < a)$
- **Transitivité** : $\forall a, b, c \in E,\ (a < b \wedge b < c) \Rightarrow a < c$
- **Asymétrie** : $\forall a, b \in E,\ (a < b) \Rightarrow \neg(b < a)$

Replace sans faute

Scenario: Replace **S2**
C'est à dire : Destroy **S2** ; Deploy **S2**



Deploy

- Deploy **S1** > Deploy **S2**
- Deploy **S2** > Deploy **S3**
- Deploy **S2** > Deploy **S5**
- Deploy **S4** > Deploy **S1**
- Deploy **S4** > Deploy **S5**

Destroy

- Destroy **S1** < Destroy **S2**
- Destroy **S1** < Destroy **S4**
- Destroy **S2** < Destroy **S3**
- Destroy **S2** < Destroy **S5**
- Destroy **S5** < Destroy **S4**

Replace sans faute: Graphe de dépendance

$\forall$**S**, Replace **S** := Destroy **S**; Deploy **S**

Destroy

- Destroy **S1** < Destroy **S2**
- Destroy **S2** < Destroy **S3**
- Destroy **S2** < Destroy **S5**
- Destroy **S5** < Destroy **S4**
- Destroy **S1** < Destroy **S4**

Deploy

- Deploy **S1** > Deploy **S2**
- Deploy **S2** > Deploy **S3**
- Deploy **S2** > Deploy **S5**
- Deploy **S5** > Deploy **S4**
- Deploy **S4** > Deploy **S1**

Replace sans faute: Graphe de dépendance

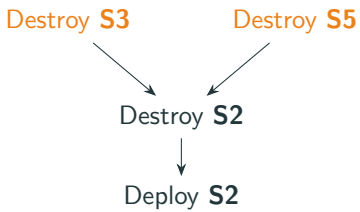
$\forall$**S**, Replace **S** := Destroy **S**; Deploy **S**

Destroy

- Destroy **S1** < Destroy **S2**
- Destroy **S2** < Destroy **S3**
- Destroy **S2** < Destroy **S5**
- Destroy **S5** < Destroy **S4**
- Destroy **S1** < Destroy **S4**

Deploy

- Deploy **S1** > Deploy **S2**
- Deploy **S2** > Deploy **S3**
- Deploy **S2** > Deploy **S5**
- Deploy **S5** > Deploy **S4**
- Deploy **S4** > Deploy **S1**



Replace sans faute: Graphe de dépendance

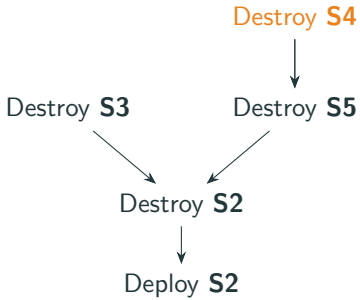
$\forall$**S**, Replace **S** := Destroy **S**; Deploy **S**

Destroy

- Destroy **S1** < Destroy **S2**
- Destroy **S2** < Destroy **S3**
- Destroy **S2** < Destroy **S5**
- Destroy **S5** < Destroy **S4**
- Destroy **S1** < Destroy **S4**

Deploy

- Deploy **S1** > Deploy **S2**
- Deploy **S2** > Deploy **S3**
- Deploy **S2** > Deploy **S5**
- Deploy **S5** > Deploy **S4**
- Deploy **S4** > Deploy **S1**



Replace sans faute: Graphe de dépendance

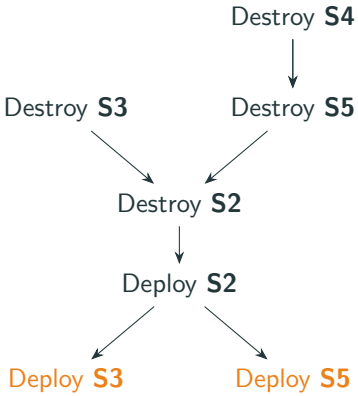
$\forall \mathbf{S}$, Replace **S** := Destroy **S**; Deploy **S**

Destroy

- Destroy **S1** < Destroy **S2**
- Destroy **S2** < Destroy **S3**
- Destroy **S2** < Destroy **S5**
- Destroy **S5** < Destroy **S4**
- Destroy **S1** < Destroy **S4**

Deploy

- Deploy **S1** > Deploy **S2**
- Deploy **S2** > Deploy **S3**
- Deploy **S2** > Deploy **S5**
- Deploy **S5** > Deploy **S4**
- Deploy **S4** > Deploy **S1**



Replace sans faute: Graphe de dépendance

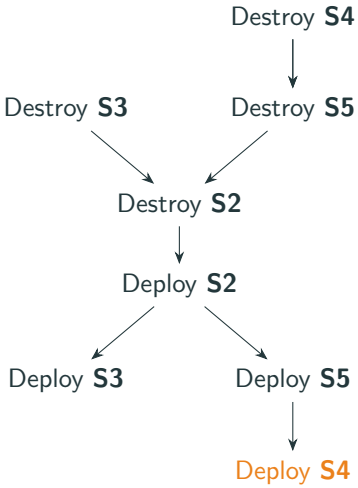
$\forall$**S**, Replace **S** := Destroy **S**; Deploy **S**

Destroy

- Destroy **S1** < Destroy **S2**
- Destroy **S2** < Destroy **S3**
- Destroy **S2** < Destroy **S5**
- Destroy **S5** < Destroy **S4**
- Destroy **S1** < Destroy **S4**

Deploy

- Deploy **S1** > Deploy **S2**
- Deploy **S2** > Deploy **S3**
- Deploy **S2** > Deploy **S5**
- Deploy **S5** > Deploy **S4**
- Deploy **S4** > Deploy **S1**



Replace sans faute: Graphe de dépendance

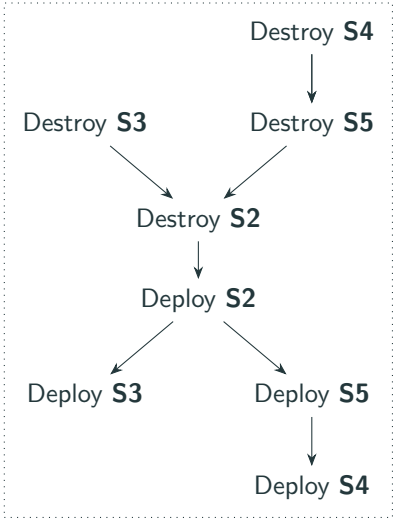
$\forall$**S**, Replace **S** := Destroy **S**; Deploy **S**

Destroy

- Destroy **S1** < Destroy **S2**
- Destroy **S2** < Destroy **S3**
- Destroy **S2** < Destroy **S5**
- Destroy **S5** < Destroy **S4**
- Destroy **S1** < Destroy **S4**

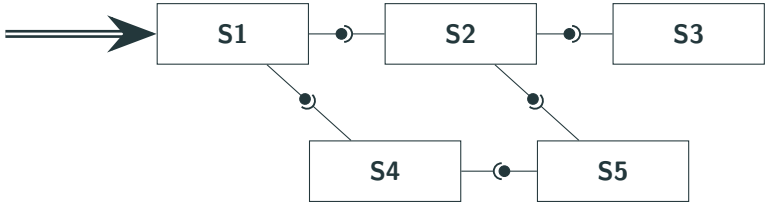
Deploy

- Deploy **S1** > Deploy **S2**
- Deploy **S2** > Deploy **S3**
- Deploy **S2** > Deploy **S5**
- Deploy **S5** > Deploy **S4**
- Deploy **S4** > Deploy **S1**



Graphe de dépendance pour Replace **S2**

Robustesse et Sécurité



Robustesse

- **Déclencheur** : Un service (e.g., S2) tombe
- **Action** : Ce service est remplacé

Sécurité

- L'utilisateur n'a accès qu'au service façade (e.g., S1)
- Les services permettent d'utiliser JRMP (Java Remote Method Protocol) entre eux

Impact

Élaborer des stratégies

Pour avoir des impactes

- Qualité de service (DevOps)
- Financier (FinOps)
- Sécurité (SecOps)
- Énergétique (GreenOps)

Impact

Exemple

Une migration d'une partie de l'infrastructure

1. Garder deux environnements et basculer progressivement les services.

⇒ Coûteux financièrement mais assure une continuité de service

2. Supprimer l'ancien environnement progressivement et remplacer les resources au fur et à mesure

⇒ Peu réduire le coût financier et énergétique au prix d'une interruption de service

Déployer et maintenir des applications

Challenges

- **Gérer les dépendances** : induit un ordre partiel sur les opérations
- **Déployer sans faute** : Avoir des opérations de déploiement atomiques (déployer, mise à jour, supprimer) sûres.
- **Robustesse** : tolérance aux pannes, passage à l'échelle, rollbacks rapides, etc.
- **Sécurité** : secrets/identités, durcissement, moindre privilège, conformité.
- **Impact** : coûts, empreinte carbone, dette opérationnelle, incidents clients.

⇒ **Automatiser** avec l'**infrastructure-as-code**

Infrastructure as Code (IaC)

Définition

- **Infrastructure as Code** = pratique consistant à **décrire et gérer l'infrastructure (réseau, serveurs, VM, containers, règles)** au moyen de code en utilisant
  - des **langages génériques**, ou GPL (General Purpose Language), avec des bibliothèques
  - des **langages dédiés**, ou DSL (Domain Specific Language)
  - des **langages de configuration** (YAML ou JSON par exemple)
- L'infrastructure est donc **déclarative et reproductible**, plutôt que créée manuellement.

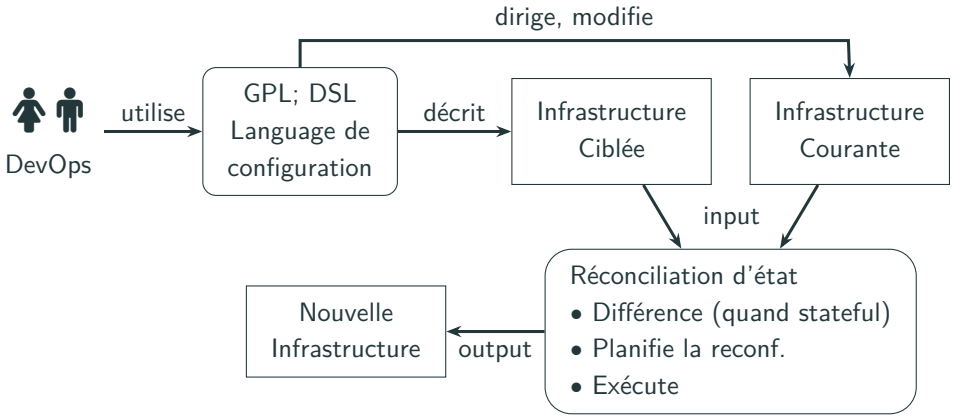
IaC et DevOps : comment ça marche ?

Dans la pratique

- Le code d'infrastructure est **stocké dans Git**, versionné comme le code applicatif.
- Les outils (Terraform, Ansible, Pulumi, CloudFormation, etc.) **appliquent le code** pour provisionner ou mettre à jour les ressources.
- Intégration dans les **pipelines CI/CD** : validation, tests, déploiement automatisé.
- Résultat : la création/évolution de l'infra suit le même cycle que le code des Devs

  plan $\rightarrow$ *review* $\rightarrow$ *merge* $\rightarrow$ *apply*

IaC et DevOps : comment ça marche ?



Les rôles des outils d'IaC

Les rôles des outils d'IaC

Management d'application

Customiser, configurer
tester l'application
et la conteneuriser

Les rôles des outils d'IaC

Management d'application

Customiser, configurer
tester l'application
et la conteneuriser

Provisionnement d'infrastructure

Demander ressources
physiques ou virtuelles;
configurer le réseau;
et règles sécurité

Les rôles des outils d'IaC

Management d'application

Customiser, configurer
tester l'application
et la conteneuriser

Provisionnement d'infrastructure

Demander ressources
physiques ou virtuelles;
configurer le réseau;
et règles sécurité

Installation et Configuration

Installer les services
(app + deps)
configurer les services;
et les intégrer

Les rôles des outils d'IaC

Management d'application

Customiser, configurer tester l'application et la conteneuriser

Provisionnement d'infrastructure

Demander ressources physiques ou virtuelles; configurer le réseau; et règles sécurité

Installation et Configuration

Installer les services (app + deps) configurer les services; et les intégrer

Orchestration de cycle de vie

Upgrades auto; Backup et recovery; Surveillance; Passage à l'échelle

Les rôles des outils d'IaC... Dans un exemple concret

On veut une **base de données maitre**, et **des réplicats** de cette base de données. Ces services sont chacun sur **une VM différente, sur un noeud différent**. Cependant, tous ces **noeuds sont connecté en réseau**. Dans le cas où un **réplicat tombe en panne, il faut en redéployer** un.

Les rôles des outils d'IaC... Dans un exemple concret

On veut une **base de données maitre**, et **des réplicats** de cette base de données. Ces services sont chacun sur **une VM différente, sur un noeud différent**. Cependant, tous ces **noeuds sont connecté en réseau**. Dans le cas où un **réplicat tombe en panne, il faut en redéployer** un.

Management d'application	Provisionnement d'infrastructure	Installation et Configuration	Orchestration de cycle de vie

Les rôles des outils d'IaC... Dans un exemple concret

On veut une **base de données maitre**, et **des réplicats** de cette base de données. Ces services sont chacun sur **une VM différente, sur un noeud différent**. Cependant, tous ces **noeuds sont connecté en réseau**. Dans le cas où un **réplicat tombe en panne, il faut en redéployer** un.

Management d'application	**Provisionnement d'infrastructure**	**Installation et Configuration**	**Orchestration de cycle de vie**
Créer un conteneur (Docker) pour démarrer une base de données			

Les rôles des outils d'IaC... Dans un exemple concret

On veut une **base de données maitre**, et **des réplicats** de cette base de données. Ces services sont chacun sur **une VM différente, sur un noeud différent**. Cependant, tous ces **noeuds sont connecté en réseau**. Dans le cas où un **réplicat tombe en panne, il faut en redéployer** un.

Management d'application	**Provisionnement d'infrastructure**	**Installation et Configuration**	**Orchestration de cycle de vie**
Créer un conteneur (Docker) pour démarrer une base de données	Créer un VPC (subnet); Demander des noeuds; Définir des VMs / cluster; Firewall		

Les rôles des outils d'IaC... Dans un exemple concret

On veut une **base de données maitre**, et **des réplicats** de cette base de données. Ces services sont chacun sur **une VM différente, sur un noeud différent**. Cependant, tous ces **noeuds sont connecté en réseau**. Dans le cas où un **réplicat tombe en panne, il faut en redéployer** un.

Management d'application	Provisionnement d'infrastructure	Installation et Configuration	Orchestration de cycle de vie
Créer un conteneur (Docker) pour démarrer une base de données	Créer un VPC (subnet); Demander des noeuds; Définir des VMs / cluster; Firewall	Démarrer les conteneurs sur les VMs; configurer et boostrapper les BDDs; intégrer master et réplicats	

Les rôles des outils d'IaC... Dans un exemple concret

On veut une **base de données maitre**, et **des réplicats** de cette base de données. Ces services sont chacun sur **une VM différente, sur un noeud différent**. Cependant, tous ces **noeuds sont connecté en réseau**. Dans le cas où un **réplicat tombe en panne, il faut en redéployer** un.

Management d'application	**Provisionnement d'infrastructure**	**Installation et Configuration**	**Orchestration de cycle de vie**
Créer un conteneur (Docker) pour démarrer une base de données	Créer un VPC (subnet); Demander des noeuds; Définir des VMs / cluster; Firewall	Démarrer les conteneurs sur les VMs; configurer et boostrapper les BDDs; intégrer master et réplicats	Configurer un trigger: détecter une panne Configurer une action: rédeployer une BDD

Les rôles des outils d'IaC... Dans une cuisine ?

Management d'application

Former les cuisiniers: leur apprendre des recettes, etc.

Provisionnement d'infrastructure

Fourni plan de travail, robots de cuisine, four, etc. et les assembler.

Installation et Configuration

Assigner les cuisiniers à des postes, et à des taches; leur donner des outils de coms; etc.

Orchestration de cycle de vie

Avoir un chef de brigade prêt à changer l'organisation pour plus d'efficacité, ou répondre à un imprévu

Atouts de l'Infrastructure as Code

Pourquoi adopter l'IaC ?

- **Interopérable** : fonctionne sur multi-cloud et on-premise.
- **Réutilisable** : modules et templates factorisables.
- **Versionnable** : suivi dans Git, rollback possible.
- **Automatisable** : intégré aux pipelines CI/CD.
- **Traçable et auditable** : chaque changement est explicite.
- **Scalable et idempotent** : état final garanti, même à grande échelle.
- **Auto-documentant** : le code décrit l'infrastructure.

Propriétés fondamentales de l'IaC

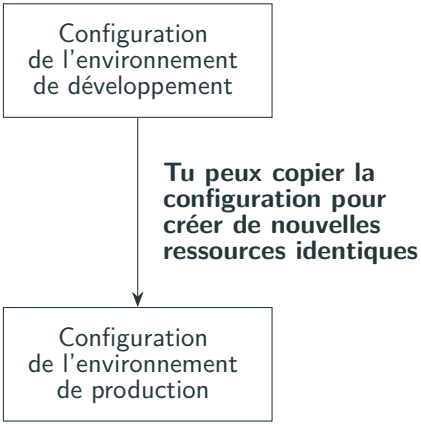
Quatres pilliers

- **Reproductibilité** : Peut-on utiliser la même configuration pour reproduire un environnement ou des ressources d'infrastructure ?
- **Idempotence** : Peut-on exécuter à plusieurs reprises l'automatisation sur l'infrastructure sans modifier son état actuel ?
- **Composabilité** : Peut-on assembler n'importe quelle combinaison de ressources d'infrastructure sans reconstruire un nouveau système ?
- **Evolutivité** : Peut-on modifier votre infrastructure et minimiser les perturbations du système global ?

Aves les solutions d'Infrastructure as Code : OUI

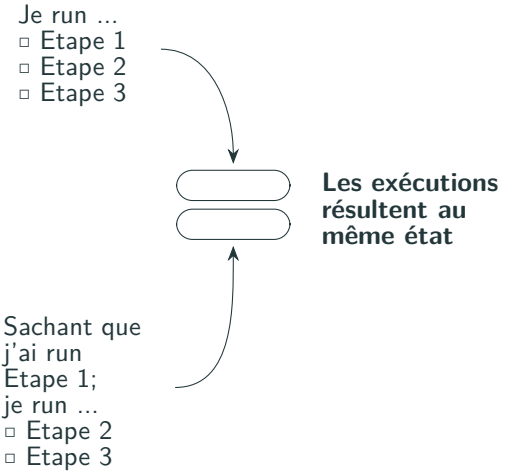
Reproductibilité

- Peut-on utiliser la même configuration pour reproduire un environnement ou des ressources d'infrastructure ?



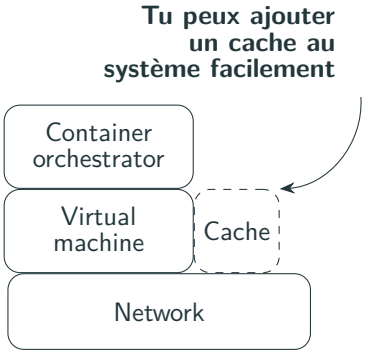
Idempotence

- Peut-on exécuter à plusieurs reprises l'automatisation sur l'infrastructure sans modifier son état actuel ?



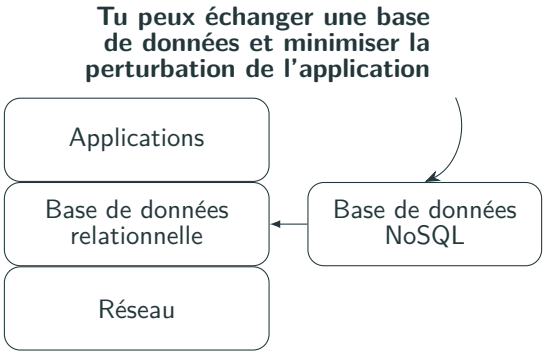
Composabilité

- Peut-on assembler n'importe quelle combinaison de ressources d'infrastructure sans reconstruire un nouveau système ?



Evolutivité

- Peut-on modifier votre infrastructure et minimiser les perturbations du système global ?



Technologie d'Infrastructure as Code

Technology	Provisioning	Conf. Mgmt	Orchestration
Ansible	✔	✔✔	✖
AWS + CloudFormation (CFN)	✔✔	✖	✔
Azure Resource Manager (ARM)	✔✔	✖	✔
CFEngine	✔	✔✔	✖
Chef	✔	✔✔	✖
Google's Infrastructure manager	✔✔	✖	✔
OpenStack + Heat	✔✔	✖	✔
Juju	✔✔	✔✔	✔✔
Kubernetes + Manifest	✔✔	✖	✔✔
Nomad	✔✔	✖	✔✔
Pulumi	✔✔	✔	✖
Puppet	✔	✔✔	✖
SaltStack	✔	✔✔	✖
Terraform	✔✔	✔	✖
TOSCA	✔✔	✔✔	✔✔

En résumé

Intégration continue / Déploiement continue (CI/CD)

- **CI** : build + tests à chaque commit.
- **CD** : déploiement automatisé

DevOps

- Dev = **garant de l'évolution du service** (innovation, nouvelles fonctionnalités, correction de bugs, qualité logicielle)
- Ops = **garant de la continuité de service** (disponibilité, robustesse, supervision), en lien étroit avec les Devs

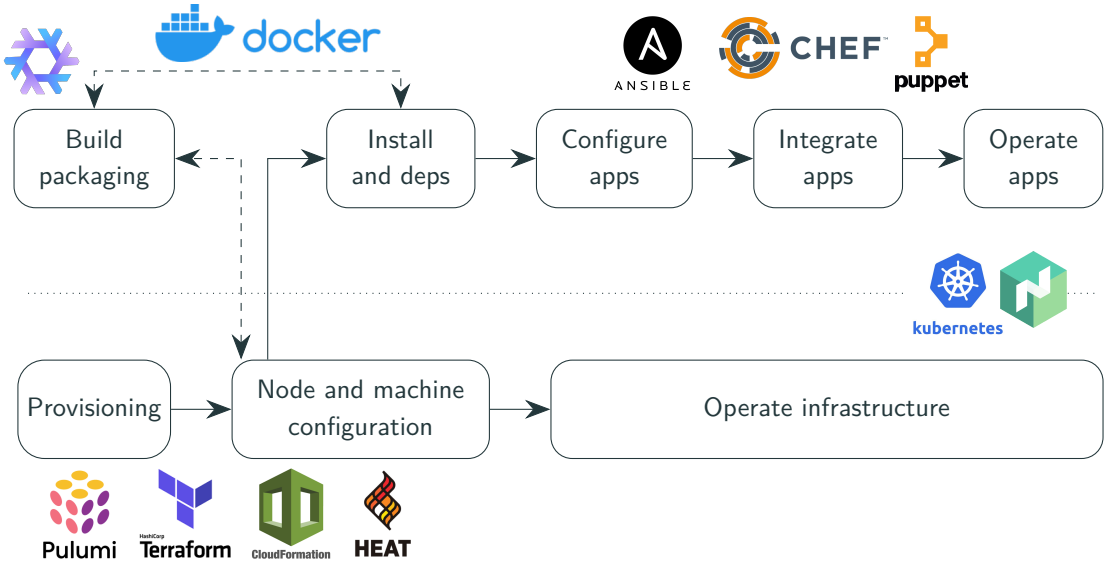
En résumé

Architecture orientée services (SOA)

- Approche modulaire: un service = une fonctionnalité
- Utilisation d'API pour composer
- Difficile à gérer à cause de la taille

Infrastructure-as-code

- Solution pour déployer sous forme de code
  - Préparer son application (conteneurisation)
  - Préparer ses ressources (provisionnement)
  - Installer son application (gestion de configuration)
  - Installer son application (orchestration)
- Reproductible, idempotent, composable et évoluable.


docker
ANSIBLE
CHEF
puppet
Build packaging
Install and deps
Configure apps
Integrate apps
Operate apps
kubernetes
Provisioning
Node and machine configuration
Operate infrastructure
Pulumi
Terraform
CloudFormation
HEAT