

# Introduction au DevOps

## Introduction

---

Jolan PHILIPPE

12 Septembre 2025

Université d'Orléans



Jolan Philippe, Maître de conférence  
Université d'Orléans, équipe LMV  
Bureau C02 (dans la tour).  
( $\lambda x. \lambda y. x @ y$ ) [jolan.philippe1@univ-orleans.fr](mailto: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

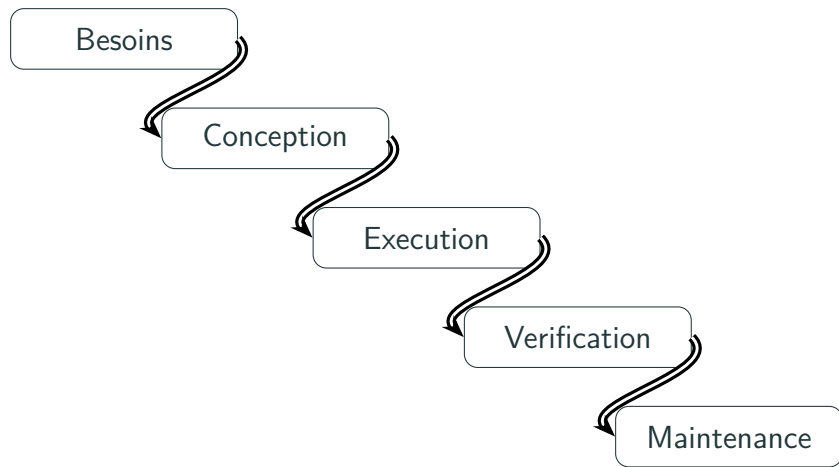
## Infrastructure-as-code

- 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)

## 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

## Firefox - Expiration d'un certificat désactivant les extensions

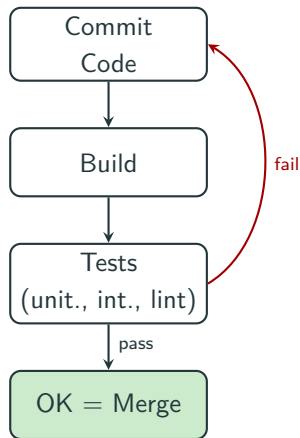
- **Problème:** expiration d'un certificat de signature d'extensions
- **Prévention:**
  - Automatiser des tests réguliers avec utilisation d'une horloge
  - Surveillance automatisé des dates d'expirations avec des patches automatiques



# 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.*

## Pourquoi automatiser les tests ?

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

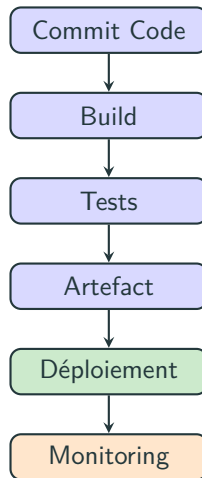
# Tester au déploiement avec Jenkins

## Jenkins

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

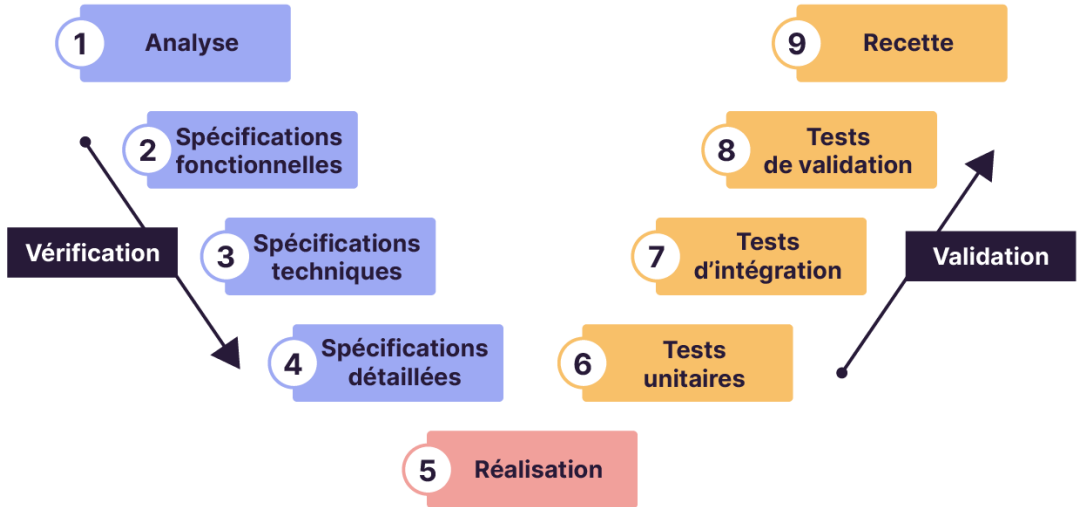
## Automatiser la CI

- **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.*

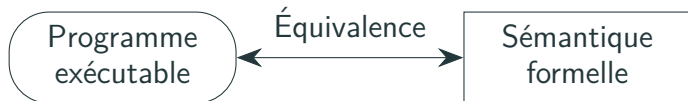
# Le cycle en V



### 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*

## 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

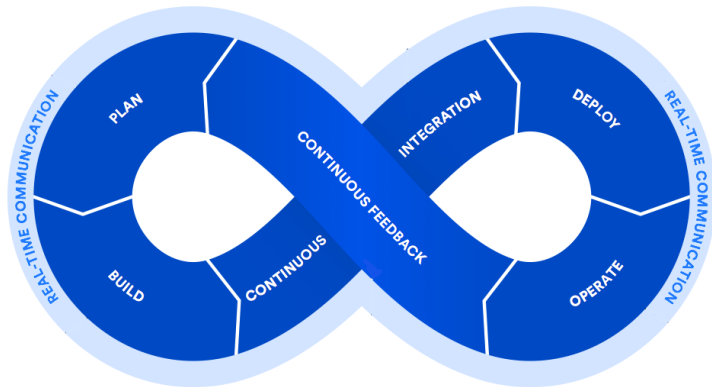
- Déploiement et exploitation des applications.
- Supervision, alertes, gestion des incidents.
- Automatisation des tâches d'infra (Infra as Code, scripts).

## 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.

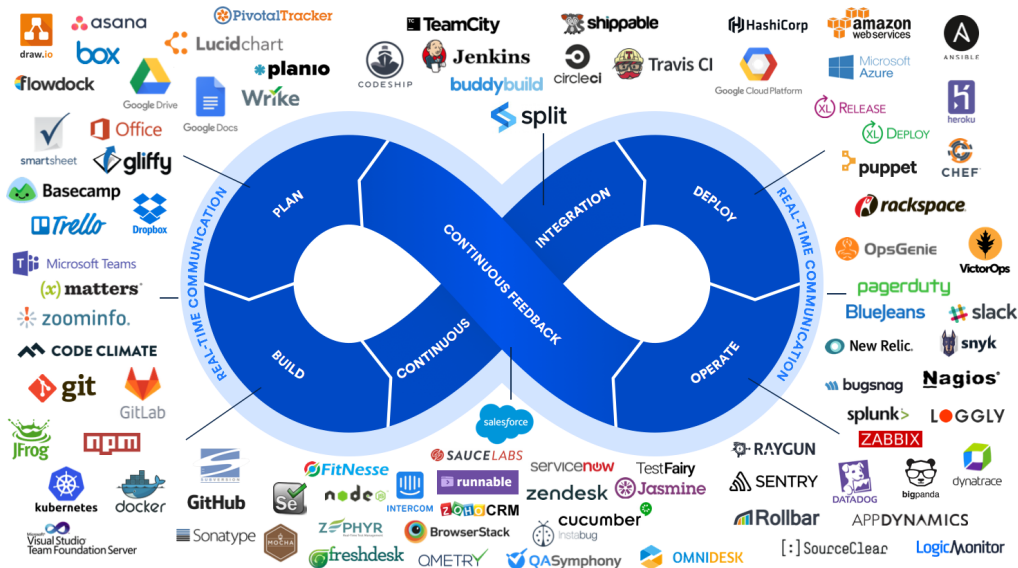
Le CD rend le déploiement **fiable, répétable et rapide**, en s'appuyant sur l'automatisation et l'intégration avec la CI.

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





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



`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.

## 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.

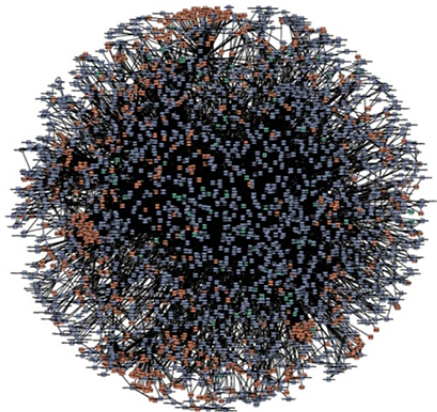
## Utilisation dans le cloud

- 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



## 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.

## 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.

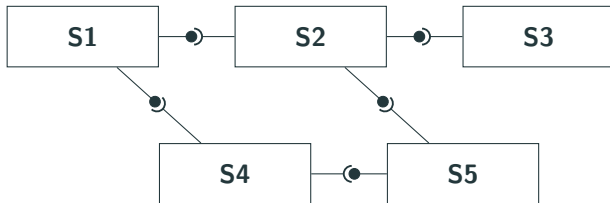
# Gérer les dépendances



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.

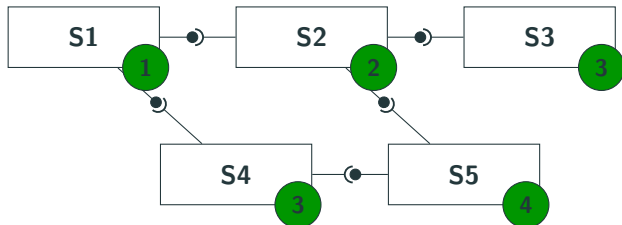
On parle de *provide port* pour Service 1 et de *use port* pour Service 2



## 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**;

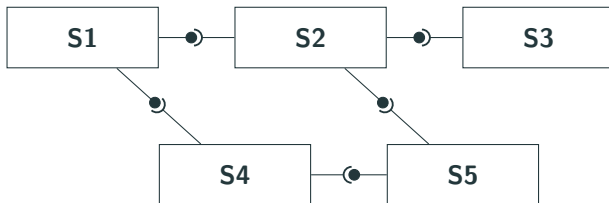
## Rappel

- **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

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

## Destroy

- Destroy  $\mathbf{S1} < \text{Destroy } \mathbf{S2}$
- Destroy  $\mathbf{S2} < \text{Destroy } \mathbf{S3}$
- Destroy  $\mathbf{S2} < \text{Destroy } \mathbf{S5}$
- Destroy  $\mathbf{S5} < \text{Destroy } \mathbf{S4}$
- Destroy  $\mathbf{S1} < \text{Destroy } \mathbf{S4}$

## Deploy

- Deploy  $\mathbf{S1} > \text{Deploy } \mathbf{S2}$
- Deploy  $\mathbf{S2} > \text{Deploy } \mathbf{S3}$
- Deploy  $\mathbf{S2} > \text{Deploy } \mathbf{S5}$
- Deploy  $\mathbf{S5} > \text{Deploy } \mathbf{S4}$
- Deploy  $\mathbf{S4} > \text{Deploy } \mathbf{S1}$

Replace  $\mathbf{S2}$



# Replace sans faute: Graphe de dépendance

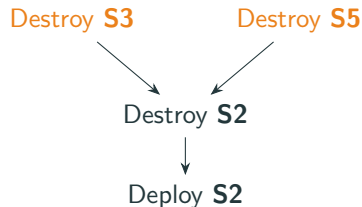
$\forall S$ , Replace **S** := Destroy **S**; Deploy **S**

## 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

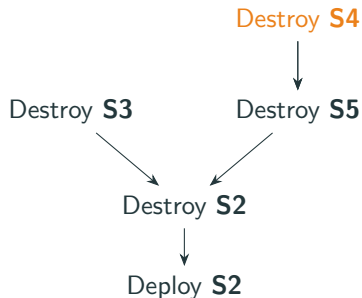
$\forall S$ , Replace **S** := Destroy **S**; Deploy **S**

## 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

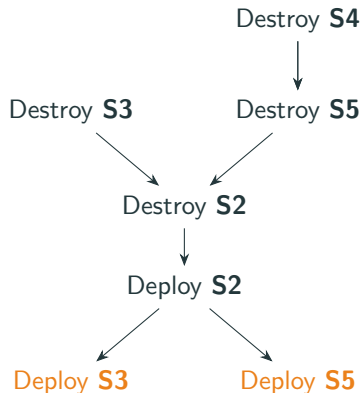
$\forall \mathbf{S}$ , Replace  $\mathbf{S} := \text{Destroy } \mathbf{S}; \text{Deploy } \mathbf{S}$

## 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

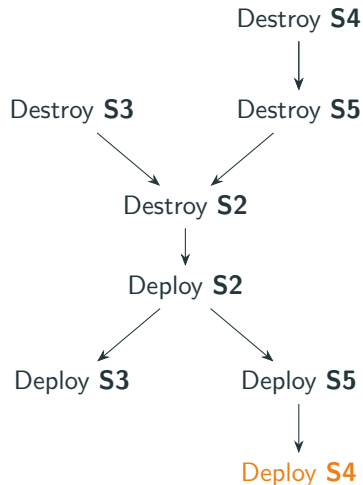
$\forall \mathbf{S}$ , Replace  $\mathbf{S} := \text{Destroy } \mathbf{S}; \text{Deploy } \mathbf{S}$

## Destroy

- Destroy  $\mathbf{S1} < \text{Destroy } \mathbf{S2}$
- Destroy  $\mathbf{S2} < \text{Destroy } \mathbf{S3}$
- Destroy  $\mathbf{S2} < \text{Destroy } \mathbf{S5}$
- Destroy  $\mathbf{S5} < \text{Destroy } \mathbf{S4}$
- Destroy  $\mathbf{S1} < \text{Destroy } \mathbf{S4}$

## Deploy

- Deploy  $\mathbf{S1} > \text{Deploy } \mathbf{S2}$
- Deploy  $\mathbf{S2} > \text{Deploy } \mathbf{S3}$
- Deploy  $\mathbf{S2} > \text{Deploy } \mathbf{S5}$
- Deploy  $\mathbf{S5} > \text{Deploy } \mathbf{S4}$
- Deploy  $\mathbf{S4} > \text{Deploy } \mathbf{S1}$



# Replace sans faute: Graphe de dépendance

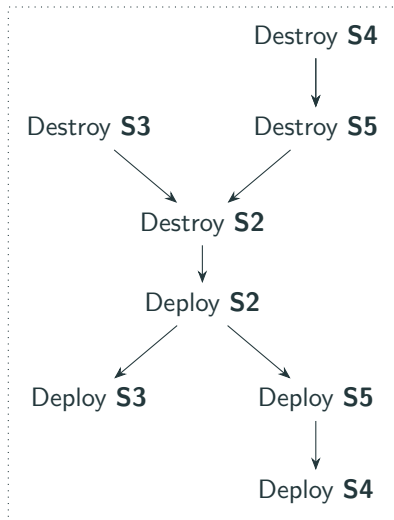
$\forall S$ , Replace **S** := Destroy **S**; Deploy **S**

## Destroy

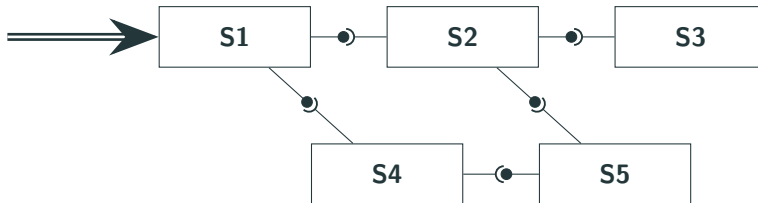
- Destroy **S1** < Destroy **S2**
- Destroy **S2** < Destroy **S3**
- Destroy **S2** < Destroy **S5**
- Destroy **S5** < Destroy **S4**
- Destroy **S1** < Destroy **S4**

## 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

- **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 JRPC (Java Remote Method Protocol) entre eux

## Élaborer des stratégies

Pour avoir des impacts

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

## 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 ressources au fur et à mesure  
⇒ Peu réduire le coût financier et énergétique au prix d'une interruption de service

## 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**

## Définition

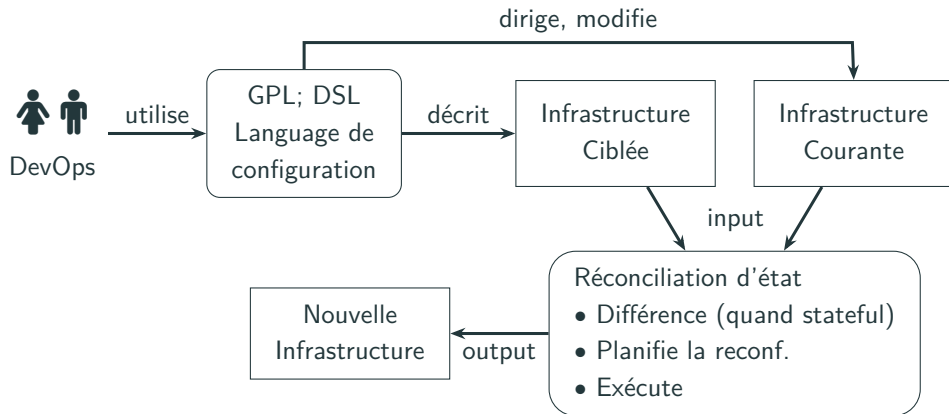
- **Infrastructure as Code** = pratique consistant à **décrire et gérer l'infrastructure** (réseau, serveurs, VM, containers, règles) au moyen de code en utilisant
  - des **langages génériques**, ou GPL (General Purpose Language), avec des bibliothèques
  - des **langages dédiés**, ou DSL (Domain Specific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



## 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* → *review* → *merge* → *apply*

# IaC et DevOps : comment ça marche ?





## **Management d'application**

Customiser, configurer  
tester l'application  
et la conteneuriser

## **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

Créer un conteneur  
(Docker) pour démarrer  
une base de données

### Provisionnement d'infrastructure

Créer un VPC (subnet);  
Demander des noeuds;  
Définir des VMs / cluster;  
Firewall

### 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	Créer un VPC (subnet); Demander des noeuds; Définir des VMs / cluster; Firewall	Démarrer les conteneurs sur les VMs; configurer et bootstrapper 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 bootstrapper les BDDs; intégrer master et réplicats	Configurer un trigger: détecter une panne Configurer une action: redéployer 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

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

## Installation et Configuration

Assigner les cuisiniers  
à des postes, et à des  
tâches; 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



## 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.

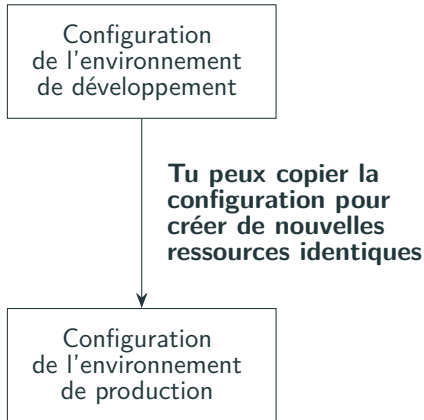
## Quatres piliers

- **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

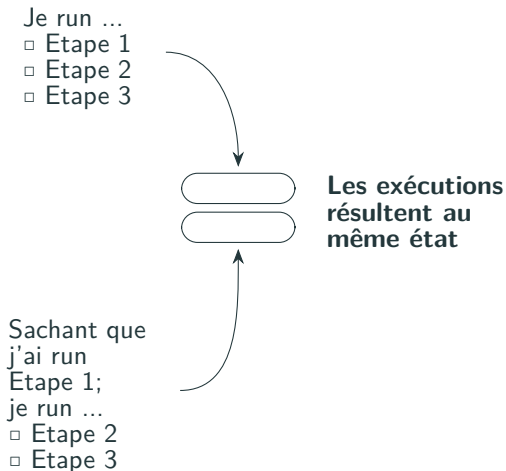


- Peut-on utiliser la même configuration pour reproduire un environnement ou des ressources d'infrastructure ?



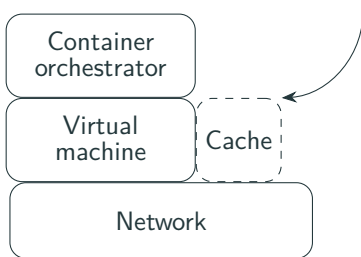
# Idempotence

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



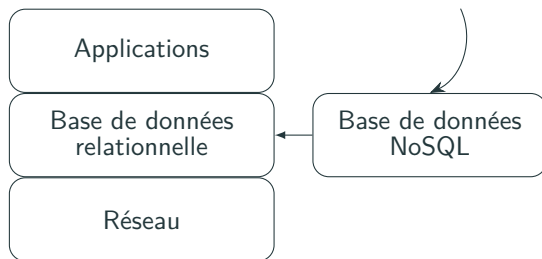
- Peut-on assembler n'importe quelle combinaison de ressources d'infrastructure sans reconstruire un nouveau système ?

**Tu peux ajouter  
un cache au  
système facilement**



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

**Tu peux échanger une base de données et minimiser la perturbation de l'application**



# Technologie d'Infrastructure as Code

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

## Intégration continue / Déploiement continu (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

## 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)
  - Gérer des événements dans son infrastructure (orchestration)
- Reproductible, idempotent, composable et évolvable.

