Bases de données NoSQL

Réplication

Nom: HAMRANI
Prénom: Amziane

I. Rappel:

1. Qu'est-ce qu'une base de données NoSQL ?

Les bases de données NoSQL (Not Only SQL) désignent une famille de systèmes de gestion de données qui se distinguent des SGBD relationnels classiques par leur modèle de données, leurs mécanismes de stockage et leur scalabilité.
Elles sont apparues pour répondre aux limitations des bases relationnelles face à la croissance massive des données, à la distribution géographique des systèmes et aux exigences de disponibilité des applications modernes.

Contrairement au modèle relationnel, NoSQL ne s'appuie pas sur un schéma fixe et privilégie souvent un schéma flexible, permettant de stocker des données hétérogènes et évolutives. Les SGBD NoSQL sont généralement conçus pour offrir :

- Scalabilité horizontale : ajout de nœuds pour absorber la charge.
- Tolérance aux pannes renforcée grâce à la réplication.
- Performances élevées sur des volumes importants de données.
- Modèles de données variés, adaptés à différents usages : documents, colonnes, graphes, clés-valeurs.

2. MongoDB : rôle et positionnement dans l'écosystème NoSQL

MongoDB est un système NoSQL orienté documents. Il stocke les données sous forme de documents BSON (Binary JSON), une représentation binaire de JSON permettant d'intégrer des types supplémentaires et d'optimiser le stockage.
Ses principaux objectifs sont : proposer un modèle flexible, riche et proche des structures manipulées dans les applications, offrir des performances élevées pour les opérations de lecture/écriture, assurer une forte disponibilité grâce à la **réplication**.
MongoDB se distingue par :

- un langage de requêtes puissant, proche de JSON ;
- un modèle semi-structuré adapté aux données hétérogènes ;
- la possibilité de faire évoluer les schémas très facilement ;
- des mécanismes avancés de réplication (**Replica Sets**) et de distribution (**Sharded Clusters**).

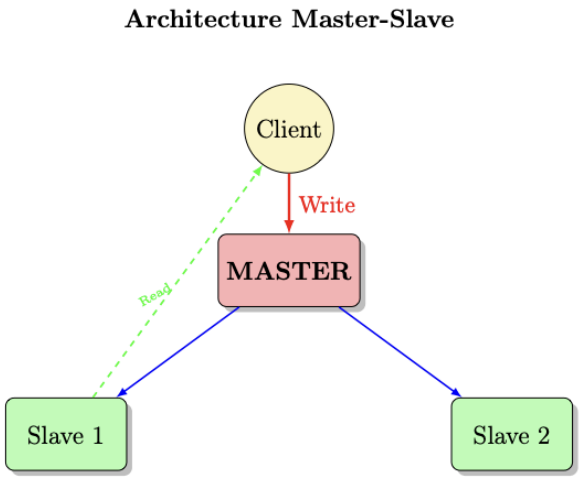
3. Systèmes distribués : définitions et modèles de réplication

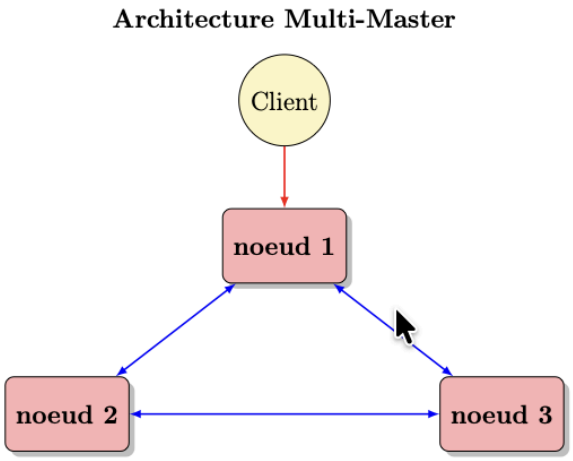
Une base de données distribuée repose sur un ensemble de nœuds interconnectés coopérant pour stocker et servir les données. Les objectifs principaux d'un tel système sont :

- **Disponibilité** : la base doit continuer à fonctionner même si une partie des nœuds échoue.
- **Tolérance aux pannes** : récupération automatique après une défaillance.
- **Scalabilité** : capacité à augmenter les performances en ajoutant des machines.
- **Répartition géographique** : distribution des données sur plusieurs sites.

Dans le contexte des bases distribuées, on distingue souvent deux grands types d'organisation :

- **Architecture Master–Slave:** Dans ce modèle, un nœud est désigné **master** qui reçoit les écritures, plusieurs nœuds **slaves** répliquent les données issues du master, les lectures peuvent être servies par le master ou les slaves.
- **Architecture sans master (Masterless / Peer-to-Peer):** Dans un cluster masterless, tous les nœuds jouent un rôle homogène. Les écritures et lectures peuvent être envoyées à n'importe quel nœud, qui réplique ensuite les données aux autres.

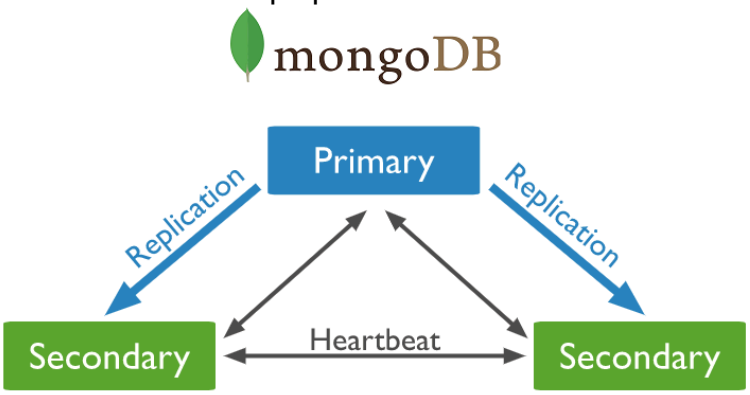




II. Mongodb: mise en échelle:

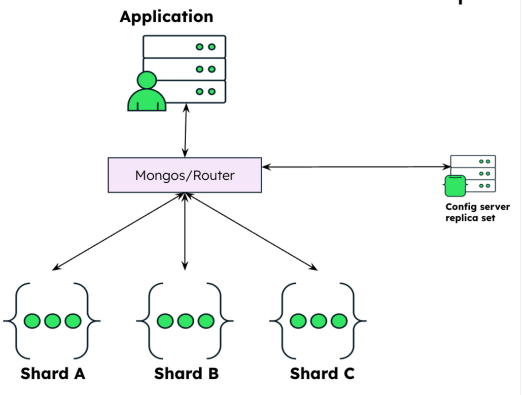
MongoDB assure sa mise à l'échelle et sa haute disponibilité en s'appuyant sur deux mécanismes fondamentaux : la **Réplication** et le **Sharding**.
1. La Réplication

- **Qu'est-ce que c'est et pourquoi ?** La réplication est le processus qui consiste à copier les données sur plusieurs serveurs (ou nœuds) au sein d'un même cluster. L'objectif principal est d'assurer la **haute disponibilité** (le système continue de fonctionner même si un serveur tombe en panne) et la **tolérance aux pannes** (les données ne sont pas perdues). Elle permet également d'améliorer les performances de lecture en distribuant la charge sur les différents serveurs répliqués.



2. Le Sharding

- **Qu'est-ce que c'est et pourquoi ?** Le sharding (ou partitionnement) est une méthode pour distribuer les données sur plusieurs machines indépendantes, appelées "shards" (fragments). L'objectif principal est d'assurer la **scalabilité horizontale** en divisant la base de données en ensembles plus petits et plus gérables. Cela permet de répondre aux défis de stockage et de performance lorsque le volume de données devient trop important pour un seul serveur. Chaque shard contient un sous-ensemble unique des données.



3. Comparaison entre Réplication et Sharding

Caractéristique	Réplication (Replica Set)	Sharding (Cluster Shardé)
Objectif Principal	Haute disponibilité et tolérance aux pannes.	Scalabilité horizontale (stockage et écriture).
Données	Chaque nœud possède une **copie complète et identique** de l'ensemble des données.	Chaque *shard* possède un **sous-ensemble unique** des données.
Limitation de Taille	Limitée par la capacité du plus grand nœud.	La capacité totale est la somme de la capacité de tous les *shards*.
Performance	Améliore les performances de **lecture**.	Améliore les performances d'**écriture** et de **lecture** sur de très grands volumes de données.

1. La Réplication : Le fondement de la Haute Disponibilité avec le Replica Set

L'architecture NoSQL de MongoDB est intrinsèquement liée à la notion de systèmes distribués, ce qui rend la réplication indispensable. Pour concrétiser les objectifs de **haute disponibilité** et de **tolérance aux pannes**, MongoDB utilise un mécanisme spécifique et robuste : le **Replica Set**. Cette section détaille les composants de cette structure et les principes de cohérence qu'elle met en œuvre.**1. Définition et Structure d'un Replica Set**

- **Qu'est-ce qu'un Replica Set dans MongoDB ?**
  Un **Replica Set** est un groupe de processus
  mongod
  qui gère de manière collaborative le même ensemble de données. Il est l'unité de base de la réplication de MongoDB. Sa structure minimale et essentielle repose sur la distinction des rôles entre les membres : un nœud **Primaire (*Primary*)** et un ou plusieurs nœuds **Secondaires (*Secondaries*)**.

2. Les Rôles Clés dans la Réplication

Objectif : Établir une source unique de vérité pour garantir l'intégrité des données tout en permettant la distribution de la charge de travail.

Rôle du Nœud	Description Détaillée
Le Primaire	**Unique responsable des écritures.** Il est le seul membre à accepter les opérations d'insertion, de mise à jour et de suppression. Il enregistre toutes ces modifications dans un journal interne appelé l'**oplog** (opération log). Le nœud primaire est la source de vérité du cluster.
Les Secondaires	**Réplication et Distribution des lectures.** Les secondaires se connectent au primaire et copient en continu l'oplog. Ils appliquent les opérations pour maintenir leur propre copie des données à jour. **Pourquoi ?** Ils servent à distribuer la charge des requêtes de **lecture** et sont prêts à prendre le relais du primaire en cas de défaillance.

3. Le Principe de Cohérence et la Séparation des Écritures

- **Pourquoi l'écriture n'est-elle pas autorisée sur les Secondaires ?**
  L'interdiction des écritures sur les nœuds secondaires est une mesure de conception fondamentale pour prévenir les **conflits de mise à jour** et garantir la **cohérence des données**. Si plusieurs nœuds pouvaient accepter des écritures simultanément, cela mènerait inévitablement à des divergences (état incohérent) qui seraient extrêmement complexes à résoudre. En forçant toutes les écritures à passer par le nœud primaire, on maintient un ordre d'opérations clair et non ambigu.
- **Qu'est-ce que la Cohérence Forte (*Strong Consistency*) ?**
  La cohérence forte est le modèle idéal où le système garantit qu'une fois qu'une écriture est validée, toute lecture ultérieure, effectuée sur n'importe quel nœud, retourne la dernière valeur écrite. Dans un Replica Set de MongoDB, le nœud **Primaire** offre naturellement cette garantie pour ses propres lectures. Les lectures sur les secondaires offrent par défaut une **cohérence éventuelle** (*Eventual Consistency*).

4. Modèles de Réplication : Synchrone vs Asynchrone

Objectif : Choisir entre une latence d'écriture faible et une garantie de cohérence maximale.

Caractéristique	Réplication Synchrone	Réplication Asynchrone
Principe	L'opération d'écriture est confirmée au client uniquement après avoir été répliquée et confirmée par une majorité de secondaires.	L'opération d'écriture est confirmée au client dès qu'elle est validée par le Primaire. La réplication vers les secondaires se fait en arrière-plan.

Avantages	Cohérence forte garantie immédiatement sur tout le cluster.	Faible latence d'écriture (performances rapides).
Inconvénients	Latence d'écriture plus élevée, car elle attend la confirmation des secondaires.	Introduit un léger décalage (*lag*) où les secondaires peuvent avoir des données légèrement obsolètes (cohérence éventuelle).
MongoDB utilise...	Par défaut, MongoDB utilise une réplication **Asynchrone**. Cependant, le développeur peut exiger une **"write concern"** pour simuler un comportement synchrone (exiger la confirmation par N membres) en contrepartie d'une latence accrue.	

2. Mise en place d'un replicaSet

Le but ici est de simuler un cluster mongodb avec 1 primaire et 2 secondaire avec Docker. L'idée est de créer donc 3 conteneur mongodb et de les joindre dans un replicaSet.

Installation:

Dans un fichier `docker_compose.yaml` (il faut d'abord creer les répertoir Master, Slave1 et Slave2 pour le stockage des données)

```yaml
version: '3.8'
services:
 mongo1:
   image: mongo:6
   container_name: mongoMaster
   ports:
     - "27017:27017"
   command: ["mongod", "--replSet", "Myreplicas", "--bind_ip_all"]
   volumes:
     - ./Master:/data/db

 mongo2:
   image: mongo:6
   container_name: mongoSlave1
   command: ["mongod", "--replSet", "Myreplicas", "--bind_ip_all"]
   volumes:
     - ./Slave1:/data/db
```

```
mongo3:
  image: mongo:6
  container_name: mongoSlave2
  command: ["mongod", "--replSet", "Myreplicas", "--bind_ip_all"]
  volumes:
    - ./Slave2:/data/db
```

Puis lancer la commande `docker compose up -d`

Pour vérifier le lancement des conteneur: `docker ps`

```
amzianehamrani@MacBook-Air-de-Amziane-2 NoSQL % docker ps
CONTAINER ID   IMAGE     COMMAND                  CREATED      STATUS          PORTS                     NAMES
196f5ba8349b   mongo:6   "docker-entrypoint.s…"   3 days ago   Up 26 seconds   27017/tcp                 mongoSlave1
62ae5482b7b6   mongo:6   "docker-entrypoint.s…"   3 days ago   Up 9 seconds    27017/tcp                 mongoSlave2
8cbbe50ff955   mongo:6   "docker-entrypoint.s…"   3 days ago   Up 40 seconds   0.0.0.0:27017->27017/tcp  mongoMaster
```

Création du replicaSet

Se connecter au container qui joura le rôle du master

`docker exec -it <Container_ID> mongosh`

Initialiser le replicatSet “MyReplicas”

```
rs.initiate({
_id: "Myreplicas",
members: [
   { _id: 0, host: "mongoMaster:27017" },
   { _id: 1, host: "mongoSlave1:27017" },
   { _id: 2, host: "mongoSlave2:27017" }
 ]
})
```

Vérifier l’état du RS:

`rs.config()`

`rs.status()`

Insertion de données:

Télécharger le fichier films.json et le placer dans le répertoire Master précédemment créé, ce qui permettra de placer ce fichier dans /data/db du container mongoMaster.

Insérer les données dans la base test de mongoMaster:

```
amzianehamrani@MacBook-Air-de-Amziane-2 NoSQL % docker exec -it 8cbbe50ff955 mongoimport --db test --collection films --file /data/db/films.j
son --jsonArray
2025-12-07T17:47:23.378+0000    connected to: mongodb://localhost/
2025-12-07T17:47:23.419+0000    278 document(s) imported successfully. 0 document(s) failed to import.
```

Se connecter à mongoMaster pour vérifier le nombre de documents insérés:

```
docker exec -it <Container_ID_Master> mongosh
```

```
Myreplicas [direct: primary] test> db.films.count()
DeprecationWarning: Collection.count() is deprecated. Use countDocuments or estimatedDocumentCount.
278
Myreplicas [direct: primary] test>
```

Vérifier la réplication sur les secondaires:

```
docker exec -it <Container_ID_Slave1> mongosh
```

```
Myreplicas [direct: secondary] test> db.films.count()
DeprecationWarning: Collection.count() is deprecated. Use countDocuments or estimatedDocumentCount.
278
Myreplicas [direct: secondary] test>
```

3. Simulation d'une panne: Master KO

On va supprimer le container mongoMaster

```
docker kill <Container_ID_Master>
```

```
amzianehamrani@MacBook-Air-de-Amziane-2 NoSQL % docker ps
CONTAINER ID   IMAGE     COMMAND                  CREATED      STATUS          PORTS                     NAMES
196f5ba8349b   mongo:6   "docker-entrypoint.s…"   3 days ago   Up 27 minutes   27017/tcp                 mongoSlave1
62ae5482b7b6   mongo:6   "docker-entrypoint.s…"   3 days ago   Up 27 minutes   27017/tcp                 mongoSlave2
8cbbe50ff955   mongo:6   "docker-entrypoint.s…"   3 days ago   Up 27 minutes   0.0.0.0:27017->27017/tcp  mongoMaster
amzianehamrani@MacBook-Air-de-Amziane-2 NoSQL % docker kill 8cbbe50ff955
8cbbe50ff955
amzianehamrani@MacBook-Air-de-Amziane-2 NoSQL % docker ps
CONTAINER ID   IMAGE     COMMAND                  CREATED      STATUS          PORTS       NAMES
196f5ba8349b   mongo:6   "docker-entrypoint.s…"   3 days ago   Up 28 minutes   27017/tcp   mongoSlave1
62ae5482b7b6   mongo:6   "docker-entrypoint.s…"   3 days ago   Up 27 minutes   27017/tcp   mongoSlave2
amzianehamrani@MacBook-Air-de-Amziane-2 NoSQL %
```

On se connectant à l'un des slave et en exécutant `rs.config()` on pourra identifier le nouveau master du cluster.

```
Myreplicas [direct: primary] test> rs.isMaster()
{
  topologyVersion: {
    processId: ObjectId('6935b9dbe87c7821c522133b'),
    counter: Long('7')
  },
  hosts: [ 'mongo1:27017', 'mongo2:27017', 'mongo3:27017' ],
  setName: 'Myreplicas',
  setVersion: 1,
  ismaster: true,
  secondary: false,
  primary: 'mongo2:27017',
  me: 'mongo2:27017',
```

Imaginons maintenant que l'ex mongoMaster soit rétablie et rejoigne le replicaSet, quel sera son rôle?

```
docker compose up -d mongoMaster
 ✔ Container mongoMaster  Started
```

On remarque plutôt qu'il a été réintégré en tant secondary