



École Supérieure Polytechnique

Département Génie Informatique

Gestion du Stockage de Documents dans les Systèmes Basés sur la
Blockchain

**Groupe 1 : Évaluation du Stockage Off-Chain avec Hyperledger
et IPFS**

Élèves :

Koumou Jonathan ASSAMAGAN
Ibrahima BALDE
Saliou Samba DIAO
Dieynaba SOW

Enseignants :

Gervais MENDY
Attoumane TAHAR

Année : 2023 - 2024

Objectif

Évaluation de la faisabilité et l'efficacité du stockage de documents off-chain en utilisant IPFS, en mettant l'accent sur la sécurité, la disponibilité et l'intégrité des données.

Étapes de Travail:

- I. **Configuration du réseau Hyperledger en local:** Installation des dépendances, configuration des nœuds et initialisation du réseau sur des machines virtuelles ou des conteneurs locaux.

Hyperledger Fabric est une plateforme pour les solutions de registre distribué (blockchain) qui s'appuie sur une architecture modulaire offrant un haut degré de confidentialité, de résilience, de flexibilité et d'évolutivité. Elle est conçue pour prendre en charge des implémentations enfichables de différents composants et s'adapter à la complexité et aux subtilités de l'écosystème économique.

● Installation

La première étape de notre travail a consisté à l'installation de Hyperledger Fabric en local. Cette dernière s'est faite globalement par le téléchargement des images des composants de Fabric avec docker, que sont :

- les **Peers** : un nœud du réseau blockchain qui stocke et réplique le registre distribué, pouvant exécuter des contrats intelligents (les **Smart Contracts**)
- les **Orderer** : un nœud responsable de la commande des transactions et de la création de blocs, assurant le consensus du réseau.
- les **ccenv** : un environnement d'exécution pour les contrats intelligents, fournissant l'isolation et la sécurité nécessaires.
- les **Baseos**: une image Docker de base pour les conteneurs ccenv, définissant le système d'exploitation et les dépendances logicielles.
- les **CA**: Autorité de certification qui émet des certificats numériques aux entités du réseau.

```
ibalde@IB24: ~  
ibalde@IB24: ~/go/src/github.com/ibalde2410/fabric-samples/test-network$ sudo docker images  
REPOSITORY          TAG             IMAGE ID        CREATED         SIZE  
hyperledger/fabric-peer    2.5             4b70009a7773   4 weeks ago    141MB  
hyperledger/fabric-peer    2.5.7           4b70009a7773   4 weeks ago    141MB  
hyperledger/fabric-peer    latest          4b70009a7773   4 weeks ago    141MB  
hyperledger/fabric-orderer 2.5             3209e74fbdbb   4 weeks ago    110MB  
hyperledger/fabric-orderer 2.5.7           3209e74fbdbb   4 weeks ago    110MB  
hyperledger/fabric-orderer latest          3209e74fbdbb   4 weeks ago    110MB  
hyperledger/fabric-ccenv   2.5             682214ab2caa   4 weeks ago    629MB  
hyperledger/fabric-ccenv   2.5.7           682214ab2caa   4 weeks ago    629MB  
hyperledger/fabric-ccenv   latest          682214ab2caa   4 weeks ago    629MB  
hyperledger/fabric-baseos  2.5             f8ac867caa68   4 weeks ago    128MB  
hyperledger/fabric-baseos  2.5.7           f8ac867caa68   4 weeks ago    128MB  
hyperledger/fabric-baseos latest          f8ac867caa68   4 weeks ago    128MB  
hyperledger/fabric-ca      1.5             da516cafd70e   4 weeks ago    206MB  
hyperledger/fabric-ca      1.5.10          da516cafd70e   4 weeks ago    206MB  
hyperledger/fabric-ca      latest          da516cafd70e   4 weeks ago    206MB  
busybox                   latest          65ad0d468eb1   12 months ago  4.26MB  
ibalde@IB24: ~/go/src/github.com/ibalde2410/fabric-samples/test-network$ sudo docker ps -a  
CONTAINER ID   IMAGE                                COMMAND                  NAMES                CREATED        STATUS        PORTS  
190813bf317b   hyperledger/fabric-peer:latest      "peer node start"       peer0.org1.example.com 4 minutes ago  Up 4 minutes  0.0.0.0:7051->7051/tcp, 0.0.0.0:9444->9444/tcp  
e5632ea5a5df   hyperledger/fabric-peer:latest      "peer node start"       peer0.org2.example.com 4 minutes ago  Up 4 minutes  0.0.0.0:9051->9051/tcp, 0.0.0.0:9445->9445/tcp  
eec466aae1f6   hyperledger/fabric-orderer:latest    "orderer"               orderer.example.com    4 minutes ago  Up 4 minutes  0.0.0.0:7050->7050/tcp, 0.0.0.0:7053->7053/tcp, 0.0.0.0:9443->9443/tcp  
ibalde@IB24: ~/go/src/github.com/ibalde2410/fabric-samples/test-network$
```

- **Vérification de l'installation : Réseau de test**

Pour vérifier l'installation de Hyperledger Fabric et prendre en main l'outil, nous avons téléchargé des données d'exemples pour mettre en place un réseau local (fourni par Fabric) - en installant des nœuds (Peer et Orderer sur nos machines locales).

```
Generating certificates using cryptogen tool
Creating Org1 Identities
+ cryptogen generate --config=./organizations/cryptogen
org1.example.com
+ res=0
Creating Org2 Identities
+ cryptogen generate --config=./organizations/cryptogen
org2.example.com
+ res=0
Creating Orderer Org Identities
+ cryptogen generate --config=./organizations/cryptogen
+ res=0
Generating CCP files for Org1 and Org2
WARN[0000] /home/jonathan/go/src/github.com/kuro-jojo/
WARN[0000] /home/jonathan/go/src/github.com/kuro-jojo/
[+] Running 7/7
✓ Network fabric_test Created
✓ Volume "compose_orderer.example.com" Created
✓ Volume "compose_peer0.org1.example.com" Created
✓ Volume "compose_peer0.org2.example.com" Created
✓ Container peer0.org1.example.com Started
✓ Container peer0.org2.example.com Started
✓ Container orderer.example.com Started
```

Les composants de notre réseau de test sont **trois (3) nœuds** - chaque nœud dans un réseau Fabric doit se trouver dans une organisation (**org1, org2**) - :

- **2 nœuds Peer** dans les organisations **peer0.org1.example.com** et **peer0.org2.example.com**.
- **1 nœud Orderer**

La prochaine étape a été de mettre en place un “**Channel**” pour les transactions entre les organisations Org1 et Org2.

Ensuite, pour interagir avec ce channel, on a utilisé la commande **peer** qui permet d'appeler des **Smart Contract** - déjà déployé pour ce test. Et ainsi, nous avons pu effectuer et observer les différentes transactions effectuées au niveau du livre (ledger ou **Chaincode**).

```
[
  {"ID": "asset1", "color": "blue", "size": 5, "owner": "Tomoko", "appraisedValue": 300},
  {"ID": "asset2", "color": "red", "size": 5, "owner": "Brad", "appraisedValue": 400},
  {"ID": "asset3", "color": "green", "size": 10, "owner": "Jin Soo", "appraisedValue": 500},
  {"ID": "asset4", "color": "yellow", "size": 10, "owner": "Max", "appraisedValue": 600},
]
```

II. **Installation d'IPFS en local**: Déployer IPFS sur le même environnement local pour une intégration directe avec Hyperledger.

Configuration de l'infrastructure du serveur avec le cluster IPFS(InterPlanetary File System) qui est un ensemble de protocoles composables peer-to-peer pour l'adressage, le routage et le transfert de données adressées par contenu dans un système de fichiers décentralisé.

Avec IPFS, on peut stocker et récupérer des données et interagir avec le réseau via une simple application GUI, un terminal ou un navigateur standard.

Les fonctionnalités les plus importantes du cluster IPFS sont les suivantes :

- Facile à exécuter : s'exécute indépendamment d'IPFS et de l'API du démon IPFS.
- Hiérarchisation intelligente des épingles : les nouvelles épingles sont prioritaires par rapport aux demandes d'épingleage anciennes ou dont l'épingleage a échoué à plusieurs reprises.
- Ingérer des broches à grande échelle : les broches peuvent être ajoutées à un rythme de plusieurs centaines de broches par seconde dans le cluster à partir du moment où elles sont suivies et gérées par les pairs du cluster.
- API et CLI : fournit un client de ligne de commande et une API REST HTTP de cluster complète. Aucun serveur central à gérer : les homologues du cluster forment un réseau distribué et maintiennent une liste de broches globale, répliquée et sans conflit.
- Ajout multi-pairs : ingère directement le contenu IPFS vers plusieurs démons.
- API proxy IPFS : les homologues du cluster fournissent une API proxy IPFS supplémentaire qui se comporte exactement comme le fait l'API du démon IPFS.
- Prêt pour l'intégration : les homologues du cluster peuvent être lancés et contrôlés par programme à l'aide de clients Go et Javascript pour son API.

Les étapes de la création d'un cluster local sont les suivantes :

- Il faut au préalable avoir docker et docker-compose installé
- On fait le téléchargement du dernier ipfs-cluster-ctl package depuis dist.ipfs.tech et on le décompresse.
- On télécharge le fichier docker-compose.yml dans le repertoire ipfs-cluster-ctl

```
ibalde@IB24: ~  
ibalde@IB24: ~/go/src/github.  
ibalde@IB24: ~/ipfs-cluster-c  
ibalde@IB24:~/ipfs-cluster-ctl$ wget https://raw.githubusercontent.com/ipfs/ipfs-cluster/v1.0.8/docker-compose.y  
ml  
--2024-05-17 11:53:07-- https://raw.githubusercontent.com/ipfs/ipfs-cluster/v1.0.8/docker-compose.yml  
Resolving raw.githubusercontent.com (raw.githubusercontent.com)... 185.199.108.133, 185.199.109.133, 185.199.111  
.133, ...  
Connecting to raw.githubusercontent.com (raw.githubusercontent.com)|185.199.108.133|:443... connected.  
HTTP request sent, awaiting response... 200 OK  
Length: 4294 (4.2K) [text/plain]  
Saving to: 'docker-compose.yml'  
  
docker-compose.yml      100%[=====] 4.19K --.-KB/s   in 0.001s  
  
2024-05-17 11:53:07 (6.66 MB/s) - 'docker-compose.yml' saved [4294/4294]  
  
ibalde@IB24:~/ipfs-cluster-ctl$ ls  
LICENSE LICENSE-APACHE LICENSE-MIT README.md docker-compose.yml ipfs-cluster-ctl  
ibalde@IB24:~/ipfs-cluster-ctl$
```

- Démarrage du cluster avec docker-compose

```
ibalde@IB24: ~/ipfs-cluster-ctl$ sudo docker-compose up  
[sudo] password for ibalde:  
WARN[0000] The "CLUSTER_SECRET" variable is not set. Defaulting to a blank string.  
WARN[0000] The "CLUSTER_SECRET" variable is not set. Defaulting to a blank string.  
WARN[0000] /home/ibalde/ipfs-cluster-ctl/docker-compose.yml: 'version' is obsolete  
[+] Running 28/15  
✓ipfs1 Pulled 22.7s  
✓cluster2 Pulled 15.7s  
✓cluster1 Pulled 15.7s  
✓ipfs2 Pulled 22.7s  
✓ipfs0 Pulled 22.7s  
✓cluster0 Pulled 15.7s  
  
[+] Running 1/7  
✓Network ipfs-cluster-ctl_default Created 0.1s  
! Container ipfs2 Created 0.9s  
! Container ipfs1 Created 0.9s  
! Container ipfs0 Created 0.9s  
! Container cluster0 Created 0.3s
```

- Après cela, on ouvre une nouvelle fenêtre de terminal et à partir de cet instant, on peut désormais interagir avec notre cluster dans le répertoire ipfs-cluster-ctl.
- On arrive à répertorier les pairs au sein du cluster

```
ibalde@IB24: ~  
ibalde@IB24: ~/go/src/ghit  
ibalde@IB24: ~/ipfs-cluster  
ibalde@IB24: ~/ipfs-cluste  
ibalde@IB24:~/ipfs-cluster-ctl$ ./ipfs-cluster-ctl peers ls  
12D3KooWSvSXPMr1BXFovzoKHXP8qVE7uPC3dobDbGoGd2xWkKy | cluster0 | Sees 2 other peers  
> Addresses:  
- /ip4/127.0.0.1/tcp/9096/p2p/12D3KooWSvSXPMr1BXFovzoKHXP8qVE7uPC3dobDbGoGd2xWkKy  
- /ip4/172.19.0.7/tcp/9096/p2p/12D3KooWSvSXPMr1BXFovzoKHXP8qVE7uPC3dobDbGoGd2xWkKy  
> IPFS: 12D3KooWR1yT87a6JJSn2ix6FjwWyA239s1kyEtBHa2rbwkDdk7  
- /ip4/127.0.0.1/tcp/4001/p2p/12D3KooWR1yT87a6JJSn2ix6FjwWyA239s1kyEtBHa2rbwkDdk7  
- /ip4/127.0.0.1/udp/4001/quic-v1/p2p/12D3KooWR1yT87a6JJSn2ix6FjwWyA239s1kyEtBHa2rbwkDdk7  
- /ip4/127.0.0.1/udp/4001/quic-v1/webtransport/certhash/uEiDXv1s2kUcUHN7kpMrjfv3tgCknnB1Xl9iLgcmGGs_Emg/cert  
hash/uEiBv0bh5FP-gNkdgkasKMDDUJcfCAqi2QFNTIzhH9286g/p2p/12D3KooWR1yT87a6JJSn2ix6FjwWyA239s1kyEtBHa2rbwkDdk7  
- /ip4/139.144.188.38/tcp/1201/p2p/12D3KooWRuRTLjwiBXAMwN8mixHDTsqPoiEvtVdYVSTxYsaJVs9q/p2p-circuit/p2p/12D3  
KooWR1yT87a6JJSn2ix6FjwWyA239s1kyEtBHa2rbwkDdk7  
- /ip4/139.144.188.38/udp/4001/quic-v1/p2p/12D3KooWRuRTLjwiBXAMwN8mixHDTsqPoiEvtVdYVSTxYsaJVs9q/p2p-circuit/  
p2p/12D3KooWR1yT87a6JJSn2ix6FjwWyA239s1kyEtBHa2rbwkDdk7  
- /ip4/139.144.188.38/udp/4001/quic-v1/webtransport/certhash/uEiD3763D8W6_8BOFthxyVgAkhovNONOM3ZjJPQupiBf_NA  
/certhash/uEiAmeQ6c-bUFvIg5APBE-Oe9c-u6mYQ09HwIuJ0-tlJ0A/p2p/12D3KooWRuRTLjwiBXAMwN8mixHDTsqPoiEvtVdYVSTxYsaJVs  
9q/p2p-circuit/p2p/12D3KooWR1yT87a6JJSn2ix6FjwWyA239s1kyEtBHa2rbwkDdk7  
- /ip4/162.250.123.150/tcp/4001/p2p/12D3KooWSXcW52oX24qGCFEeHmjazzLVjmkDF8kx4XYSvBRbhJf/p2p-circuit/p2p/12D  
3KooWR1yT87a6JJSn2ix6FjwWyA239s1kyEtBHa2rbwkDdk7  
- /ip4/162.250.123.150/udp/4001/quic-v1/p2p/12D3KooWSXcW52oX24qGCFEeHmjazzLVjmkDF8kx4XYSvBRbhJf/p2p-circuit  
/p2p/12D3KooWR1yT87a6JJSn2ix6FjwWyA239s1kyEtBHa2rbwkDdk7  
- /ip4/162.250.123.150/udp/4001/quic-v1/webtransport/certhash/uEiBLVgBgCIPb9ls2cH9ZLU83KIyo6iZgugSVsleWfHtm  
Q/certhash/uEiDNH8PgDlBgk-a8uFsY09PdLJj0o0LADE8n35t0urDUGw/p2p/12D3KooWSXcW52oX24qGCFEeHmjazzLVjmkDF8kx4XYSvBRb  
hJf/p2p-circuit/p2p/12D3KooWR1yT87a6JJSn2ix6FjwWyA239s1kyEtBHa2rbwkDdk7  
- /ip4/172.19.0.3/tcp/4001/p2p/12D3KooWR1yT87a6JJSn2ix6FjwWyA239s1kyEtBHa2rbwkDdk7  
- /ip4/172.19.0.3/udp/4001/quic-v1/p2p/12D3KooWR1yT87a6JJSn2ix6FjwWyA239s1kyEtBHa2rbwkDdk7  
- /ip4/172.19.0.3/udp/4001/quic-v1/webtransport/certhash/uEiDXv1s2kUcUHN7kpMrjfv3tgCknnB1Xl9iLgcmGGs_Emg/cer  
thash/uEiBv0bh5FP-gNkdgkasKMDDUJcfCAqi2QFNTIzhH9286g/p2p/12D3KooWR1yT87a6JJSn2ix6FjwWyA239s1kyEtBHa2rbwkDdk7
```

- On peut ajouter des fichiers dans le cluster et consulter l'état des fichiers sur le cluster de nœuds IPFS

```
ibalde@IB24: ~  
ibalde@IB24: ~/go/src/ghit  
ibalde@IB24: ~/ipfs-cluster  
ibalde@IB24: ~/ipfs-cluste  
ibalde@IB24:~/ipfs-cluster-ctl$ wget https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/6/63/Neptune_-_Voyager_2_%2829347980845%29_flatten_crop.jpg  
s-cluster-ctl add Neptune_-_Voyager_2_\(29347980845\)_flatten_crop.jpg--2024-05-17 12:01:28-- https://upload.wi  
kimedia.org/wikipedia/commons/6/63/Neptune_-_Voyager_2_%2829347980845%29_flatten_crop.jpg  
Resolving upload.wikimedia.org (upload.wikimedia.org)... 185.15.58.240, 2a02:ec80:600:ed1a::2:b  
Connecting to upload.wikimedia.org (upload.wikimedia.org)|185.15.58.240|:443... connected.  
HTTP request sent, awaiting response... 200 OK  
Length: 462455 (452K) [image/jpeg]  
Saving to: 'Neptune_-_Voyager_2_(29347980845)_flatten_crop.jpg'  
  
Neptune_-_Voyager_2_(293479 100%[=====>] 451.62K 1.18MB/s in 0.4s  
  
2024-05-17 12:01:28 (1.18 MB/s) - 'Neptune_-_Voyager_2_(29347980845)_flatten_crop.jpg' saved [462455/462455]  
  
ibalde@IB24:~/ipfs-cluster-ctl$ ./ipfs-cluster-ctl add Neptune_-_Voyager_2_\(29347980845\)_flatten_crop.jpg  
added QmaPUvMcehBFgcAn76crra9pHJaPQVn2XUFcsQZRCp33fh Neptune_-_Voyager_2_(29347980845)_flatten_crop.jpg  
ibalde@IB24:~/ipfs-cluster-ctl$ nano test1  
ibalde@IB24:~/ipfs-cluster-ctl$ ls  
LICENSE LICENSE-MIT README.md docker-compose.yml test1  
LICENSE-APACHE 'Neptune_-_Voyager_2_(29347980845)_flatten_crop.jpg' compose ipfs-cluster-ctl  
ibalde@IB24:~/ipfs-cluster-ctl$ ./ipfs-cluster-ctl add test1  
added Qmdudp5XvJr7KrqK6fQ7m2ACStoRxuwfovNHNy6dAAeUis test1  
ibalde@IB24:~/ipfs-cluster-ctl$
```

```
ibalde@IB24: ~  
ibalde@IB24: ~/go/src/gith  
ibalde@IB24: ~/ipfs-cluster  
ibalde@IB24: ~/ipfs-cluste  
ibalde@IB24:~/ipfs-cluster-ctl$ wget https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/6/63/Neptune_-_Voyager_2_%2829347980845%29_flatten_crop.jpg  
s-cluster-ctl add Neptune_-_Voyager_2_(29347980845)_flatten_crop.jpg--2024-05-17 12:01:28-- https://upload.wi  
kimedia.org/wikipedia/commons/6/63/Neptune_-_Voyager_2_%2829347980845%29_flatten_crop.jpg  
Resolving upload.wikimedia.org (upload.wikimedia.org)... 185.15.58.240, 2a02:ec80:600:ed1a::2:b  
Connecting to upload.wikimedia.org (upload.wikimedia.org)|185.15.58.240|:443... connected.  
HTTP request sent, awaiting response... 200 OK  
Length: 462455 (452K) [image/jpeg]  
Saving to: 'Neptune_-_Voyager_2_(29347980845)_flatten_crop.jpg'  
  
Neptune_-_Voyager_2_(293479 100%[=====] 451.62K 1.18MB/s in 0.4s  
  
2024-05-17 12:01:28 (1.18 MB/s) - 'Neptune_-_Voyager_2_(29347980845)_flatten_crop.jpg' saved [462455/462455]  
  
ibalde@IB24:~/ipfs-cluster-ctl$ ./ipfs-cluster-ctl add Neptune_-_Voyager_2_(29347980845)_flatten_crop.jpg  
added QmaPUvMcehBFgan76crra9pHJaPQVN2XUFcsQZRCp33fh Neptune_-_Voyager_2_(29347980845)_flatten_crop.jpg  
ibalde@IB24:~/ipfs-cluster-ctl$ nano test1  
ibalde@IB24:~/ipfs-cluster-ctl$ ls  
LICENSE LICENSE-MIT README.md docker-compose.yml test1  
LICENSE-APACHE 'Neptune_-_Voyager_2_(29347980845)_flatten_crop.jpg' compose ipfs-cluster-ctl  
ibalde@IB24:~/ipfs-cluster-ctl$ ./ipfs-cluster-ctl add test1  
added Qmdudp5XvJr7KrQK6fQ7m2ACStoRxuwfovNHnY6dAAeUis test1  
ibalde@IB24:~/ipfs-cluster-ctl$ ./ipfs-cluster-ctl status Qmdudp5XvJr7KrQK6fQ7m2ACStoRxuwfovNHnY6dAAeUis  
Qmdudp5XvJr7KrQK6fQ7m2ACStoRxuwfovNHnY6dAAeUis:  
> cluster2 : PINNED | 2024-05-17T12:03:01Z | Attempts: 0 | Priority: false  
> cluster1 : PINNED | 2024-05-17T12:03:01Z | Attempts: 0 | Priority: false  
> cluster0 : PINNED | 2024-05-17T12:03:01Z | Attempts: 0 | Priority: false  
ibalde@IB24:~/ipfs-cluster-ctl$
```