

Découverte

Fonctionnement de la blockchain

Rédigé par

David ROUMANET
Professeur BTS SIO



Changement

Date	Révision

Sommaire


A Introduction.....	1
A.1 Présentation.....	1
A.2 Prérequis.....	1
B Fonctionnement d'une blockchain.....	2
B.1 Hachage dans la blockchain.....	2
B.2 Notion de bloc.....	3
B.3 Chaîne de bloc.....	4
B.4 Distribution.....	5
B.5 Les tokens.....	6
B.6 Transactions.....	8
C Usages de la chaîne de blocs.....	9
C.1 Autres usages.....	9
C.2 NFT.....	9

Nomenclature :

- **Assimiler** : cours pur. Explication théorique et détaillée (globalement supérieur à 4 pages).
- **Décoder** : fiche de cours, généralement inférieure à 5 pages.
- **Découvrir** : Travaux dirigés. Faisable sans matériel.
- **Explorer** : Travaux pratiques. Nécessite du matériel ou des logiciels.
- **Mission** : Projet encadré ou partie d'un projet.
- **Voyager** : Projet en autonomie totale. Environnement ouvert : Vous êtes le capitaine !

A Introduction

La blockchain est arrivée en même temps que le Bitcoin, une monnaie numérique basée sur la cryptographie.


 La cryptographie est une des disciplines de la cryptologie s'attachant à protéger des messages (assurant confidentialité, authenticité et intégrité) en s'aidant souvent de secrets ou clés. [Wikipédia]

L'intérêt de la blockchain n'est pas seulement lié à la monnaie, mais peut-être utilisé de manière différente, pour forcer l'intégrité et l'authentification de messages historisés.



A.1 Présentation

Cette rapide découverte sur la blockchain ou chaîne de blocs a pour objectif de montrer sur quels algorithmes et méthodes s'appuient les blockchains et pourquoi elles sont si fiables.

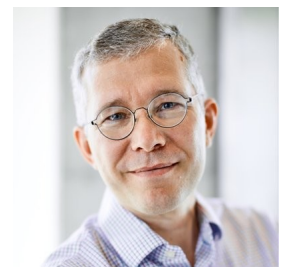
 Une blockchain (du terme original en anglais), ou chaîne de blocs (du Journal officiel de la République française), est une technologie de stockage et de transmission d'informations sans autorité centrale. [Wikipédia]

A.2 Prérequis

Il sera plus simple de comprendre cette découverte si vous avez déjà quelques notions :

- Hachage, MD5, SHA-1, etc.
- Clé publique et clé privée

Ce cours s'appuie sur les outils proposés par Anders BROWNORTH. Ce dernier a fait un ensemble d'outils permettant de parfaitement comprendre une blockchain et a également enregistré des vidéos, présentes sur son site web <https://andersbrownworth.com/>



B Fonctionnement d'une blockchain

La blockchain doit son nom aux éléments qui la constitue :

- Des blocs de données
- Des liens entre les blocs

Nous allons donc nous intéresser au contenu d'un bloc de données et nous assurer de son intégrité.

B.1 Hachage dans la blockchain

C'est par la fonction de hachage d'une donnée que l'on peut s'assurer qu'elle ne sera pas modifiée. Ainsi, la fonction de hachage délivre une chaîne de caractère de taille fixe, mais de valeur très variable, pour chaque donnée saisie.

Testez la fonction SHA-256 présente sur le site <https://andersbrownworth.com/blockchain/hash>

SHA256 Hash



The image shows a web-based SHA-256 hash calculator. It has two main input/output fields. The first field, labeled 'Data:', contains the text 'Bonjour le monde !'. The second field, labeled 'Hash:', contains the resulting 64-character hexadecimal string: '88a93edc3f364efb5c175ae9400da7e1b78d06774be14bcfaaa19f8d303d4fbe'. There is a small blue checkmark icon in the bottom right corner of the 'Data:' field.

Trouvez-vous le même résultat que cette image pour le texte "Bonjour le monde !" ?

Que se passe-t-il si vous ajoutez un [espace] à la fin de la phrase ? De même si vous remplacez le B majuscule par une minuscule ?

 Comme on peut le constater, une fonction de hachage fournit un résultat unique pour chaque donnée et ce résultat diffère énormément, même si les données diffèrent peu.

Combien de caractères contient le résultat du hachage ? Combien cela fait-il d'octet ?

Combien de possibilités existent ?

B.2 Notion de bloc

Maintenant que nous savons comment fonctionne la fonction de hachage, nous allons pouvoir l'utiliser d'une manière spécifique.

Les données que nous voulons sécuriser (non répudiation et intégrité) seront écrites dans un bloc. Ce bloc portera un numéro unique d'identification.

Enfin – et c'est là la particularité de la chaîne de bloc – le résultat du hachage du bloc doit commencer par 0000.

Pour permettre cela, on ajoute au bloc un numéro appelé "nonce" (un nombre unique sur 4 octets), qui permet de faire varier le résultat du hachage avec les données. C'est l'action de rechercher un nombre validant la condition, qu'on appelle "miner".

Essayez avec l'application d'exemple <https://andersbrownworth.com/blockchain/block> :

Block



The screenshot shows a web application interface for mining a block. It features a light green background and several input fields:

- Block:** A dropdown menu with the value "1" selected.
- Nonce:** A text input field containing the value "58628".
- Data:** A large text area containing the text "Bonjour le monde !".
- Hash:** A text input field displaying the resulting hash: "0000802f4cde3004d29c0717d03c31a27b60753b26e58726c3b45539acdc9793".

At the bottom of the form, there is a blue button labeled "Mine". A small blue checkmark icon is visible in the bottom right corner of the Data field.

Une fois que le hachage est validé (vous avez cliqué [Mine] et l'application a trouvé un nonce qui valide le bloc), essayez de modifier les données.

Que se passe-t-il ? Pourquoi ?

Revalidez le bloc et modifiez ensuite le numéro du bloc : que se passe-t-il à nouveau ?

Ainsi, le hachage doit toujours être recalculé, Quel que soit le champ modifié. Désormais, nous allons lier les blocs entre eux pour créer une chaîne de bloc.

B.3 Chaîne de bloc

Nous avons donc des blocs qui nécessitent un calcul pour être validés (avoir un hachage commençant par 0000) mais les blocs sont indépendants. Chaque bloc peut contenir quelques opérations financières, donc changer une transaction implique de recalculer le nonce du bloc (calcul coûteux en temps).

Nous allons maintenant stocker dans nos données, le résultat du hachage du bloc précédent (sauf pour le premier bloc).

Testez l'exemple proposé dans le bloc <https://andersbrownworth.com/blockchain/blockchain> :

Blockchain

The image shows two side-by-side panels representing blocks in a blockchain simulation. Each panel has a light green background and contains the following fields:

- Block:** A dropdown menu showing the block number (# 1 for the left panel, # 2 for the right panel).
- Nonce:** A text input field.
- Data:** A large text area for the block's content.
- Prev:** A text input field for the previous block's hash.
- Hash:** A text input field for the current block's hash.
- Mine:** A blue button at the bottom of each panel.

Block 1 (Left Panel): Block # 1, Nonce: 16768, Data: "Bonjour le monde !", Prev: 00, Hash: 0000d5e95ebe920f7c1edb04bdc25de84e91bbe6206a. A blue checkmark icon is visible in the bottom right corner of the Data field.

Block 2 (Right Panel): Block # 2, Nonce: 129908, Data: "Norris me doit 1000000€.", Prev: 0000d5e95ebe920f7c1edb04bdc25de84e91bbe6206a, Hash: 000071c6e004834cbe26f11268b790f0c934014059d70. A red '1' icon is visible in the bottom right corner of the Data field, indicating an error or invalid state.

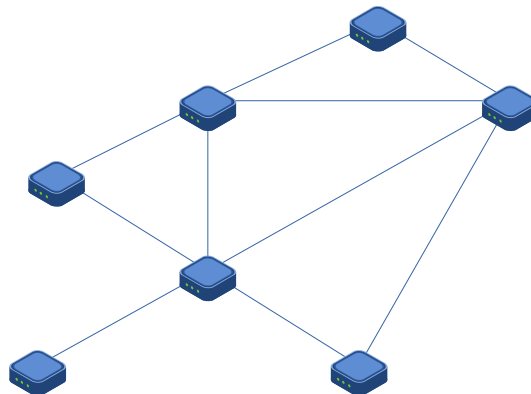
Cette fois, un changement dans le premier bloc rendra toute la chaîne, fausse, car le résultat du hachage du bloc 2 tient compte du bloc 1. Il faut donc recalculer les nonces de tous les blocs à partir du bloc modifié : cela peut prendre beaucoup de temps.

De plus, le bloc modifié est rapidement identifiable

Cependant, rien n'empêche un individu d'effectuer ce travail pour rendre la chaîne valide, c'est pourquoi, un autre mécanisme est présent dans le système de la blockchain.

B.4 Distribution

La chaîne de bloc est donc re-calculable, au prix d'un effort de plus en plus conséquent, alors que la chaîne s'allonge. Cependant, chaque nœud participant au réseau, effectue les mêmes calculs et chaque nœud dispose des mêmes informations. Lorsqu'un bloc doit être clos, tous les nœuds recherchent le nonce de clôture et le premier qui le trouve, l'annonce à tous les autres.



Ainsi, il y a une élection pour valider les résultats, et la majorité des nœuds doivent avoir un résultat identique pour valider une nouvelle chaîne de blocs.

C'est la partie "Distributed" du site <https://andersbrownworth.com/blockchain/distributed>

Distributed Blockchain

Peer A

Block: 1	Block: 2	Block: 3
Nonce: 142884	Nonce: 21272	Nonce: 24284
Date: Bonjour le monde	Date: Message 10	Date: Un autre message
Peer: [hash]	Peer: [hash]	Peer: [hash]
Hash: [hash]	Hash: [hash]	Hash: [hash]

Peer B

Block: 1	Block: 2	Block: 3
Nonce: 142884	Nonce: 17488	Nonce: 2222
Date: Bonjour le monde	Date: Message 10	Date: Un autre message
Peer: [hash]	Peer: [hash]	Peer: [hash]
Hash: [hash]	Hash: [hash]	Hash: [hash]

Peer C

Block: 1	Block: 2	Block: 3
Nonce: 142884	Nonce: 21272	Nonce: 24284
Date: Bonjour le monde	Date: Message 10	Date: Un autre message
Peer: [hash]	Peer: [hash]	Peer: [hash]
Hash: [hash]	Hash: [hash]	Hash: [hash]

The image displays three rows of screenshots, each representing a peer (A, B, and C) in a distributed blockchain network. Each peer has three panels showing the state of their local blockchain at different stages. Peer A and Peer C show consistent chains of three blocks. Peer B shows a fork: its first block is identical to the others, but its second block has a different nonce (17488) and data ('Message 10'), which is circled in red. This indicates a conflict in the network where one node has a different version of the second block.

Dans cet exemple, le nœud A et le nœud C sont cohérents, alors qu'une erreur a été introduite dans le second bloc du nœud B. La chaîne de bloc de B ne sera plus considérée comme valide et le nœud ne participera plus à la distribution de la chaîne de bloc, sauf si on arrive à corrompre plus de la moitié des nœuds.

B.5 Les tokens

Dans les monnaies numériques, un bloc contient des opérations financières entre un émetteur et un bénéficiaire, c'est ce qu'illustre la partie du site <https://andersbrownworth.com/blockchain/tokens> :

Tokens

Peer A

The image displays two screenshots of a blockchain token interface, labeled 'Peer A'. Each screenshot shows a block with its details and a list of transactions.

Block #1:

- Block #: 1
- Nonce: 139358
- Transactions (Tx):

\$ 25.00	From: Darcy	->	Bingley
\$ 4.27	From: Elizabeth	->	Jane
\$ 19.22	From: Wickham	->	Lydia
\$ 106.44	From: Lady Catherine	->	Collins
\$ 6.42	From: Charlotte	->	Elizabeth
- Prev: 00
- Hash: 00000c52990ee86de55ec4b9b32beefd745d71675dc0eddfbc7b88336e2e296t
- Mine button

Block #2:

- Block #: 2
- Nonce: 39207
- Transactions (Tx):

\$ 97.67	From: Ripley	->	Lambert
\$ 48.61	From: Kane	->	Ash
\$ 6.15	From: Parker	->	Dallas
\$ 10.44	From: Hicks	->	Newt
\$ 88.32	From: Bishop	->	Burke
\$ 45.00	From: Hudson	->	Gorman
\$ 92.00	From: Vasquez	->	Apone
- Prev: 00000c52990ee86de55ec4b9b32beefd745d71675dc0eddfbc7b88336e2e296t
- Hash: 000078be183417844c14a9251ca246fb15df1074019873f5d85c1a6f4311d4e0
- Mine button

Nous avons vu qu'il est possible de modifier une donnée et miner pour retrouver un nonce qui fonctionne : cela invalide toute la chaîne, mais on peut toujours imaginer isoler certains nœuds ou corrompre une partie du réseau.

C'est ici que nous allons faire intervenir une autre notion importante dans le chiffrement : le chiffrement asymétrique et les clés privées et publiques.

Encore une fois, Anders nous permet de tester la génération de tels éléments que nous faisons généralement à l'aide d'OpenSSL, <https://andersbrownworth.com/blockchain/public-private-keys/keys> :

The image shows a 'Public / Private Key Pairs' generator interface. It contains two text input fields and a button.

Private Key: 89075501942903068679221649795634670190731796899542989603278119472441624226873

Public Key: 04decdfad1b9cd7be82e089050b76e5b968246ec9c62dbec85293c66bde8c57179d22891f59c3dc7553b3cffe53015e98a51d8306d580

Random button

Pour chaque clé publique, il existe une clé privée unique. Ce système va servir à signer les opérations financières : ce ne seront donc pas des noms qui seront enregistrés dans le bloc de données, mais des signatures de données (c'est à dire, une données chiffrées à l'aide de la clé privée).

Voici un exemple de données ayant une telle signature :

Signatures

Sign Verify

Message

Private Key

Sign

Message Signature

Ainsi, la signature ne peut être décodée que par la clé publique correspondant à la clé privée. Ce mode de fonctionnement permet à tout le monde de connaître le contenu du message (ce n'est pas le secret), mais surtout, il n'y a aucun doute sur l'origine du message (il s'agit du possesseur de la clé privée, correspondant la clé publique).

 **Rappel : il est absolument impossible de déduire la clé privée à partir de la clé publique, c'est ce qui rend le chiffrement asymétrique aussi efficace.**

Vous pouvez effectuer des tests sur le site dédié au fonctionnement des clés publiques et privées <https://andersbrownworth.com/blockchain/public-private-keys/signatures>.

Si dans l'onglet [Sign] vous mettez une somme de 7.50 euros, signez le message puis allez dans l'onglet [Verify] et enlevez le point pour faire 750 euros, la vérification ne fonctionnera donc pas.

Signatures

Sign Verify

Message

Public Key

Signature

Verify

B.6 Transactions

Grâce au mécanisme précédent, nous allons pouvoir renforcer la sécurité des données et des tokens : les clés publiques de l'émetteur et du destinataire remplacent désormais leurs noms dans les données.

La signature permet d'éviter toute altération dans la transaction, que ce soit le montant ou l'une des clés publiques.

Vous pouvez le tester sur le lien <https://andersbrownworth.com/blockchain/public-private-keys/transaction>

Ainsi, même si le bloc est miné à nouveau (pour obtenir un nonce valide), l'opération en erreur est rapidement décelable (<https://andersbrownworth.com/blockchain/public-private-keys/blockchain>).

Peer A

Block: # 1

Nonce: 16119

Coinbase: \$ 100.00 -> 04fe1be031bc7a54d900ff062911bc4f7ba0

Tx:

Prev: 00

Hash: 00006908f507a101e89544498978e9bd2e35462b91d86ef13510685227912e77

[Mine](#)

Block: # 2

Nonce: 11487

Coinbase: \$ 100.00 -> 04fe1be031bc7a54d900ff062911bc4f7ba0

Tx:

\$ 10.00	From: 04fe1be031bc7a54d900f	->	04cc17dc129331c1cbb9c
Seq: 1	Sig: 3046022100cf33ee8c696edd0b0c291a259e0a03ea2491f8f8ebd396244e309d1		
\$ 2000	From: 04fe1be031bc7a54d900f	->	04997ac426a5c3c0ec9b5
Seq: 1	Sig: 30460221008aa13eb403bbaecbfe36d3df2f3fc04fbee6c930f689eef1e544		
\$ 15.00	From: 04fe1be031bc7a54d900f	->	042222d7af343abd780ad
Seq: 1	Sig: 304402201d97c65bafaf61ae46717c87757772860cd1b130e5786085f82bef5t		
\$ 15.00	From: 04fe1be031bc7a54d900f	->	041c377677bb697329b8d
Seq: 1	Sig: 3046022100c583bd79baf55bd5580761a236a7e2f65b80ae3e4ebb4eb20e6a4		

Prev: 00006908f507a101e89544498978e9bd2e35462b91d86ef13510685227912e77

Hash: 0000779bcf8436f15897b8cd74c2b6d31d7ae77e8d9926fd04de93e79c44a581

[Mine](#)

Tenter de modifier la signature ne fera qu'empirer les choses, ce qui rend le fonctionnement de la blockchain aussi fiable.

C Usages de la chaîne de blocs

La chaîne de blocs est un système extrêmement robuste et fiable, ce qui en fait l'élément essentiel pour traiter des flux financiers, comme pour les monnaies numériques (Bitcoins, Ethereum, etc.) et garantir un fonctionnement décentralisé. Chaque nœud participe à la sécurité du système et le nombre de nœuds est tellement élevé, que la corruption en devient presque impossible (du moins pour le moment).

C.1 Autres usages

On retrouve toutefois la chaîne de blocs dans d'autres applications, qui nécessitent de fournir des informations de traçabilité des informations :

- Le transport maritime et le commerce international, afin de réduire les erreurs de fraude et de livraison.
- La santé, pour assurer le stockage complètement décentralisé des dossiers médicaux et donner aux patients un contrôle sur leurs propres données médicales.
- L'industrie pharmaceutique, pour lutter contre la prolifération des médicaments dangereux, contrefaits.
- La transformation des aliments pour assurer un meilleur suivi de la provenance des aliments, le stockage et les conditions de transport.
- La certification des documents (identité, certificats de naissance, diplômes, voix ...), pour améliorer la lutte contre le vol d'identité.
- Les produits de luxe (bijoux, vin) pour lutter contre le risque croissant de la contrefaçon.

(source : <https://academy.swissborg.com/fr/learn/blockchain-use-cases>)

C.2 NFT

On retrouve également ce genre de besoins dans les NFT (Non Fongible Token) : une monnaie est généralement fongible, car on peut remplacer un billet d'une valeur particulière par un autre billet de même valeur.

À l'inverse, les tokens non fongibles (NFT) sont uniques et identifiables. Pour garantir la conformité des copies des NFT et assurer l'absence d'altération, la blockchain est alors le moyen idéal de gérer ces tokens. Le NFT ne garantit pas que le token ne sera pas copié, mais il garantit que celui qui possède le token en est le propriétaire (et peut donc le céder).