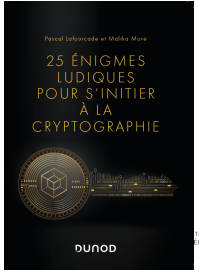
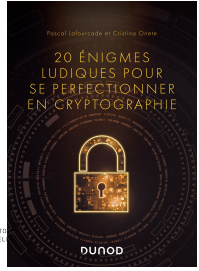

JEAN-GUILLAUME DUMAS • PASCAL LAFOURCADE
ARIANE TICHIT • SÉBASTIEN VARRETTE
LES
BLOCK CHAINS
EN 50 QUESTIONS
Comprendre le fonctionnement et les enjeux de cette technologie
DUNOD


JEAN-GUILLAUME DUMAS • PASCAL LAFOURCADE • ETIENNE ROUDEIX
ARIANE TICHIT • SÉBASTIEN VARRETTE
LES
NFT
EN 40 QUESTIONS
Des réponses claires et détaillées pour comprendre les Non Fungible Tokens
DUNOD


Pascal Lafourcade et Malika More
25 ÉNIGMES LUDIQUES POUR S'INITIER À LA CRYPTOGRAPHIE
DUNOD


Pascal Lafourcade et Cristina Onete
20 ÉNIGMES LUDIQUES POUR SE PERFECTIONNER EN CRYPTOGRAPHIE
DUNOD


Pascal Lafourcade et Malika More
15 ÉNIGMES LUDIQUES POUR S'INITIER À LA PROGRAMMATION PYTHON
DUNOD


Pascal Lafourcade, Guesnaelle De Julis et Malika More
15 ÉNIGMES LUDIQUES POUR SE PERFECTIONNER EN PROGRAMMATION PYTHON
DUNOD

Bitcoin et la Blockchain

Pascal Lafourcade

LIMOS

UNIVERSITÉ Clermont Auvergne

3A BUT, 9 septembre 2024

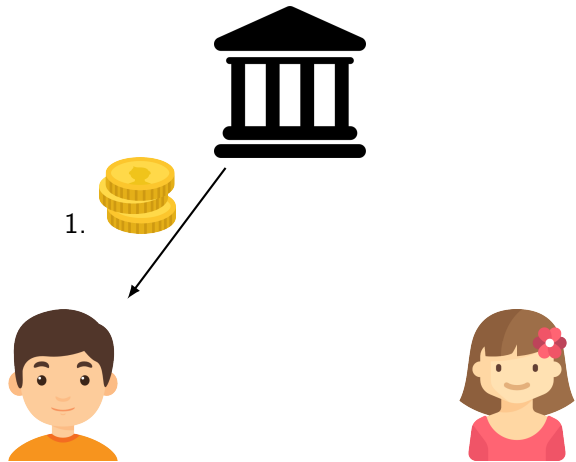
Sumériens vers 3.500 av J.C

Qu'est-ce que la monnaie?

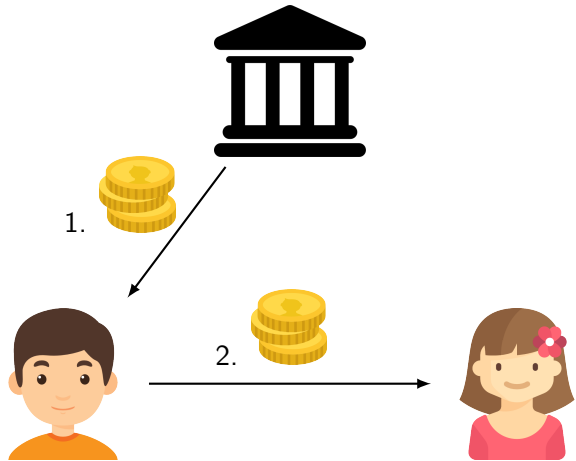
- Intermédiaire et moyens d'échanges de biens et services entre les individus
- Réserve de valeur
- Unité de compte

Nombreuses monnaies

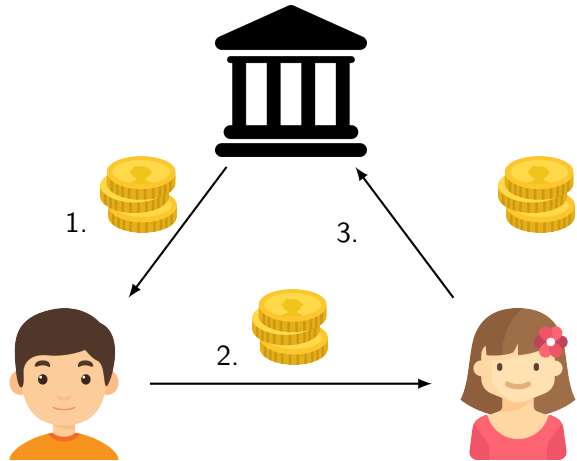
Principe : Banque centrale



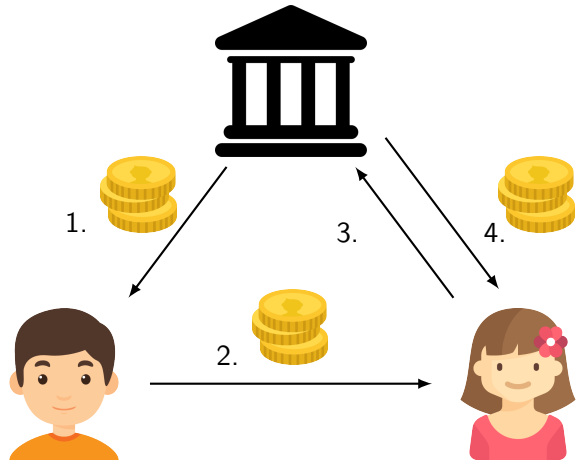
Principe : Banque centrale



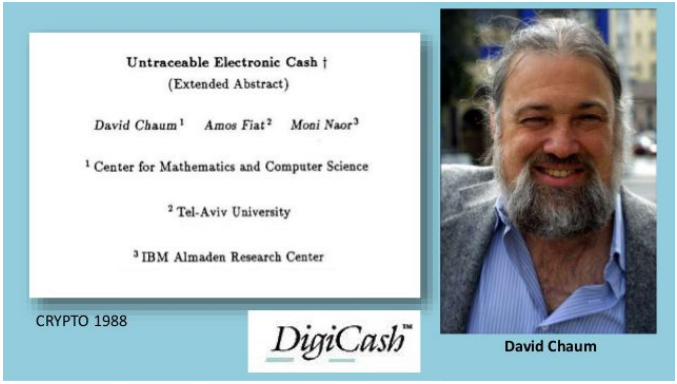
Principe : Banque centrale



Principe : Banque centrale



1988 : Digitcash

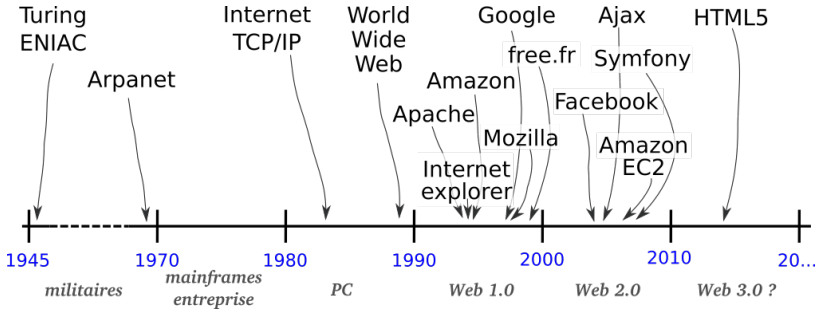


☺ Préserve la vie privée

😐 À l'aide de primitives cryptographiques

☹ Nécessite toujours un tiers (banque)

Une idée visionnaire en avance sur son temps



LIMOS
LABORATOIRE D'INFORMATIQUE, DE MODÉLISATION ET D'OPTIMISATION DES SYSTÈMES

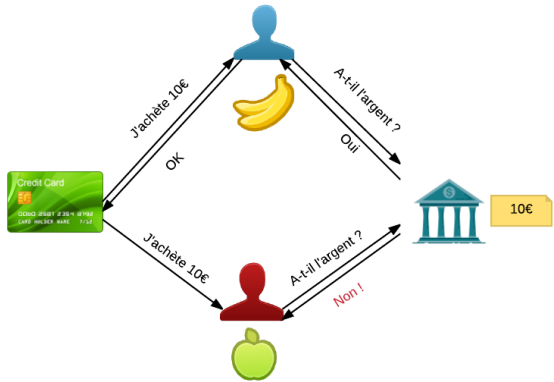
Crypto-monnaie

- Monnaie
  1. Intermédiaire et moyen d'échanges
  2. Réserve de valeur
  3. Unité de compte

- Crypto-monnaie : monnaie électronique, se passant d'un Tiers
  4. Respect de la vie privée
  5. Non-Falsifiable
  6. Éviter les doubles dépenses

Propriétés : Non-Falsifiable (Unforgeable)

Propriétés : Eviter la double dépense



- identifiation fraudeur
- "présemption d'innocence"

LIMOS LABORATOIRE D'INFORMATIQUE, DE MODÉLISATION ET D'OPTIMISATION DES SYSTÈMES

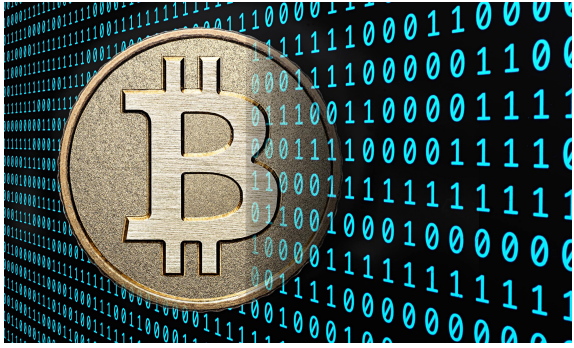
Propriétés : Respect de la vie privée

- Anonymat faible : non identification d'un acheteur
- Anonymat fort : non traçabilité d'un acheteur

Monnaies classiques et crypto-monnaies

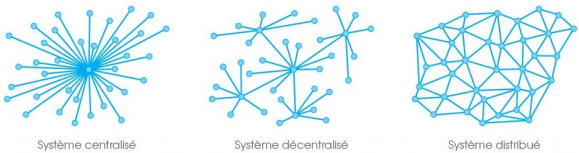
	Monnaie classique		Crypto-monnaie
	Liquide	Électronique	
Moyen d'échange	✓	✓	✓
Réserve de valeur	✓	✓	✓
Unité de compte	✓	✓	✓
Création	Banque centrale	Dette	Automatique
Vie privée	✓	✗	✓
Pair à pair	✗	✗	✓
Garantie légale, stabilisation	✓	✓	✗

La révolution Bitcoin 2009



Bitcoin

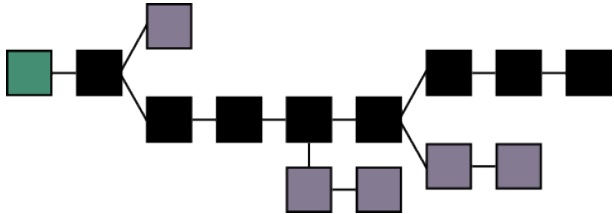
- Cryto-monnaie décentralisée et distribuée



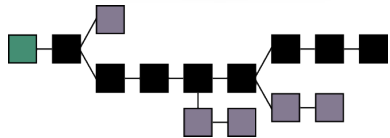
21 millions BTC

Inarrêtable car distribuée

Infalsifiable



Auditable



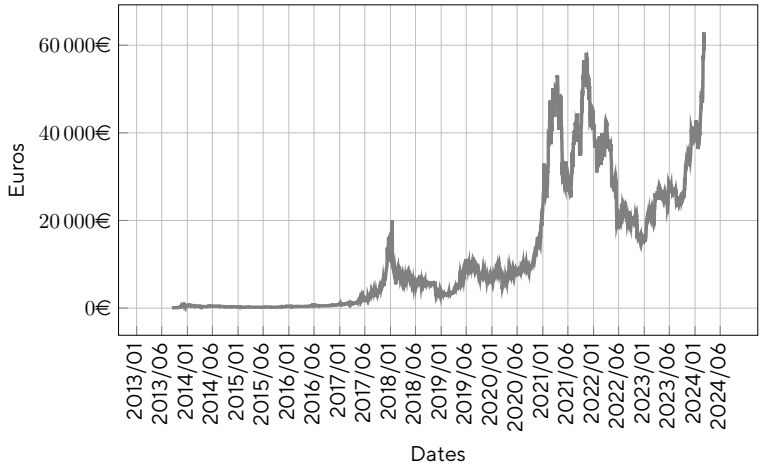
Bitcoin : monnaie électronique

Créée en 2008 par Satoshi Nakamoto

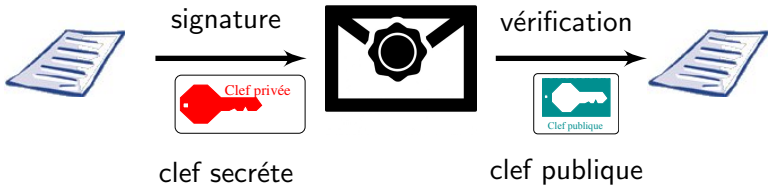
1 BTC $\approx$ 23 410,62 € le 15 mars 2023

1	BTC = 1 Bitcoin	
0,01	BTC = 1 cBTC	= 1 centiBitcoin (ou bitcent)
0,001	BTC = 1 mBTC	= 1 milliBitcoin
0,000 001	BTC = 1 μBTC	= 1 microBitcoin
0,000 000 01	BTC = 1 Satoshi	

Taux de change du bitcoin 2024



Signature



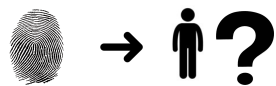
RSA: $m^d \mod n$

LIMOS
LABORATOIRE D'INFORMATIQUE, DE MODÉLISATION ET D'OPTIMISATION DES SYSTÈMES

Fonction de Hachage (RIPEMD-160, SHA-256, SHA-3)

Propriétés de résistance

- Pré-image



- Seconde Pré-image

- Collision

Bitcoins : caractéristiques

- Le nombre total de bitcoins est **fini**

  21 millions BTC

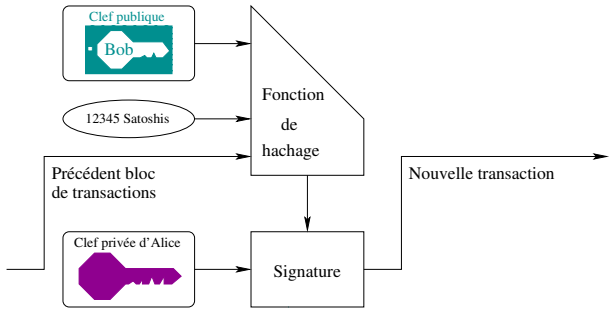
- Les transactions utilisent des **PKI**
- Numéro de compte :

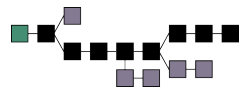
  $$\text{RIPEMD-160}(\text{SHA-256}(\text{ECDSA}_{pub}))$$

- Toutes les transactions sont **publiques**
- **Blockchain** : un système pair-à-pair qui garantit la validité des transactions

Comment faire une transaction?

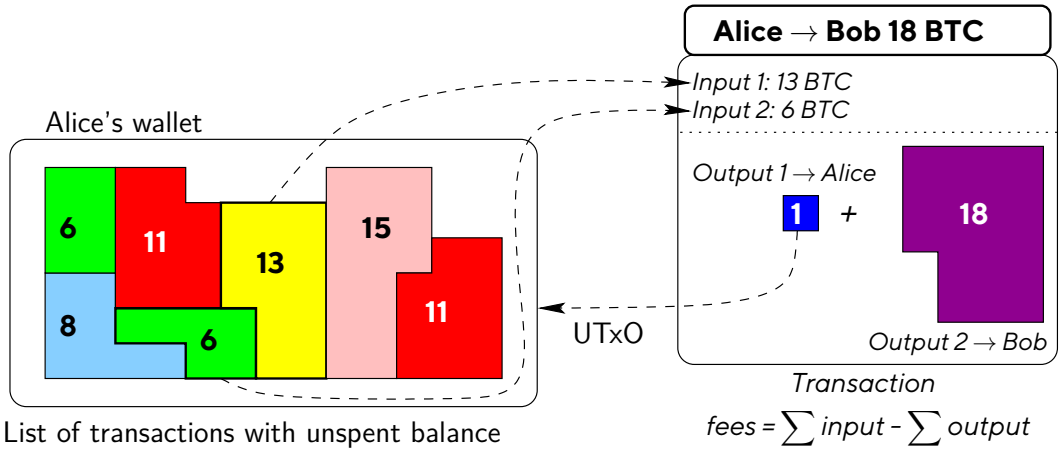
Alice donne 12345 Satochis ($\approx 5c$) à Bob.



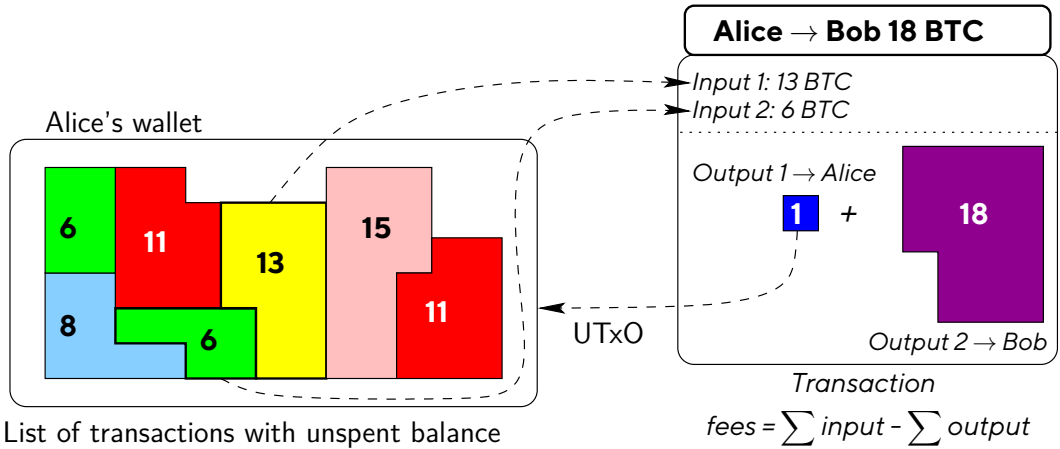


Unspent Transaction Output UTXO

Pay 18 BTC with coins



Pay 18 BTC with coins



- Seul les bitcoins possédés peuvent être dépensés, UTXO (Unspent transaction output)

Porte-monnaie électronique

- Consultation du solde
- Réalisation d'une transaction
- Gestion du stockage des pièces
- Création de nouvelles clefs de compte

1. Sécurité
2. Disponibilité
3. Facilité

Matériel

Numérique

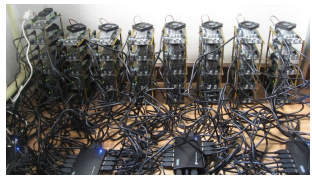
Dématérialisé

Où sont mes clefs privées ?

Miner des Bitcoins

Miner des Bitcoins

Les "*mineurs*" valident les transactions contre des bitcoins



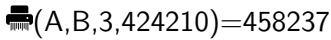
Miner des Bitcoins

- Valider = résoudre un **objectif de hachage**
- Récompense initiale 50 BTC pour une validation
- Divisée par 2 tous les 210000 validations

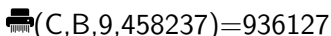
$$\sum_{i=0}^{32} \frac{50}{2^i} \times 210\,000 = 21 \text{ millions BTC}$$

Principe de la Blockchain

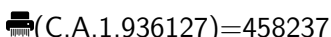
Etat de la chaîne 424210 — A donne à B 3 BTC



Etat de la chaîne 458237 — C donne à B 9 BTC

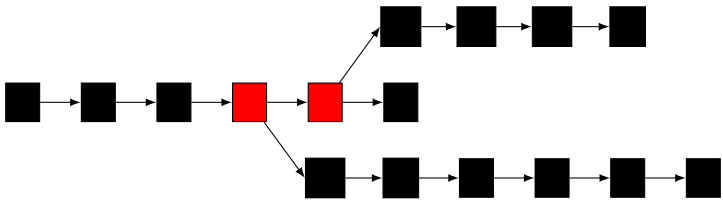


Etat de la chaîne 936127 — C donne à A 1 BTC



Blockchain Infalsifiable

$$
\begin{aligned}
& \text{🖨}(C, A, 1, \text{🖨}(C, B, 9, \text{🖨}(A, B, 3, 424210))) \\
= \; & \text{🖨}(C, A, 1, \text{🖨}(C, B, 9, 458237)) \\
= \; & \text{🖨}(C, A, 1, 936127) \\
= \; & 458237
\end{aligned}
$$



LIMOS LABORATOIRE D'INFORMATIQUE, DE MODÉLISATION ET D'OPTIMISATION DES SYSTÈMES

Miner : Objectif de hachage

Cible pour le block 816 377 (Février 2024)
0000000000000000000481940000000000000000000000000000000000000000

Trouver une nombre n tel que

$$\text{SHA-256}(\text{SHA-256}(\text{Transactions}, n)) = x < \textit{Cible}$$

Avoir au moins 18 zéros au début de x

Miner : Objectif de hachage

Cible pour le block 816 377 (Février 2024)
0000000000000000000481940000000000000000000000000000000000000000

Trouver une nombre n tel que

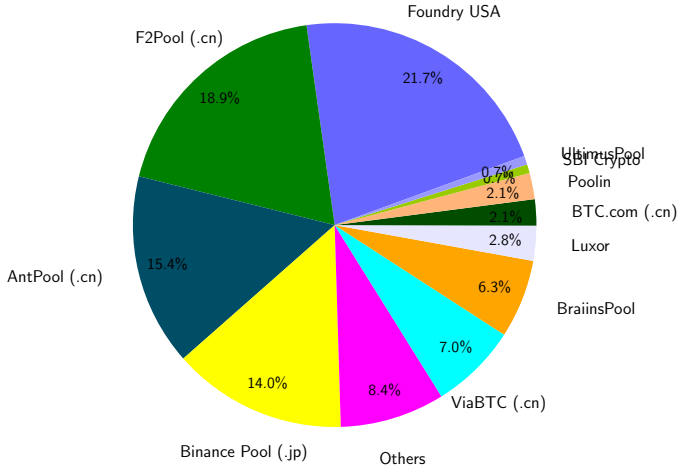
$$\text{SHA-256}(\text{SHA-256}(\text{Transactions}, n)) = x < \textit{Cible}$$

Avoir au moins 18 zéros au début de x

Stratégie : brute force

Tester toutes les valeurs possibles de n

Fermes de mineurs: partagent les récompenses

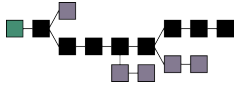


LIMOS
LABORATOIRE D'INFORMATIQUE, DE MODÉLISATION ET D'OPTIMISATION DES SYSTÈMES

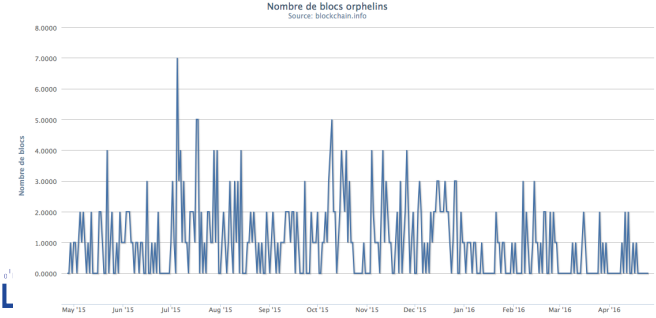
Miner = Validation des transactions

Cible: 0000000000000000000254845fa930deac4086b3e3bce21147e93f463b206d8076

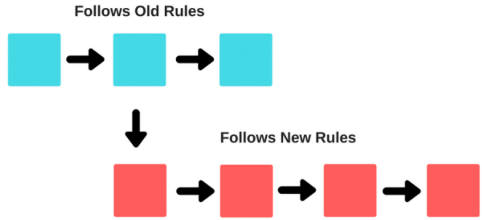
Re-évaluée tous les blocs à partir des 2016 blocs passéss



- La chaîne la plus longue persiste (attaque 51 %)
- Validation toutes les 10 minutes (6 confirmations)



Soft Fork

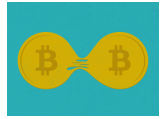


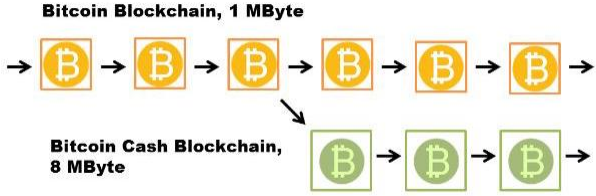
The primary difference between a soft fork and hard fork is that it is not backward compatible

Modification du code :

- Correction de bugs
- Améliorations consensuelles

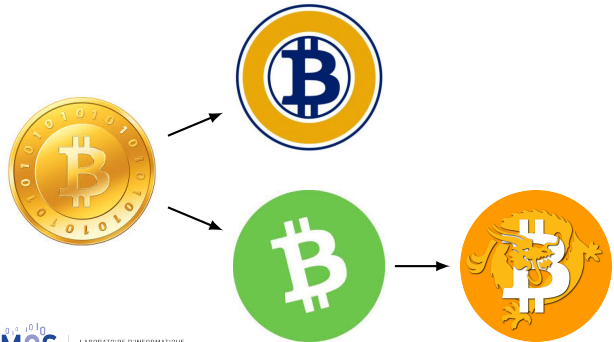
Hard Fork




Bitcoin Blockchain, 1 MByte
Bitcoin Cash Blockchain,
8 MByte

Hard Fork History

- Bitcoin Cash for Bitcoin (1 August 2017 at block 478558)
- Bitcoin Gold for Bitcoin (24 October 2017 at block 491407)
- Bitcoin SV (Satoshi Version) for Bitcoin Cash (15 November 2018 at block 556766)



Hard Fork History

Logo	Fork Name	Fork Symbol	Blockchain	Fork Date	Fork Block	Coin Distribution
	Bitcoin Zero	0ZX	Bitcoin	Sunday, September 30, 2018	0	1 HKK: 1 BTC = 1 0ZX
	Micro Bitcoin	MBC	Bitcoin	Wednesday, May 30, 2018	525000	1 BTC = 10000 MBC
	ClassicBitcoin	CBTC	Bitcoin	Sunday, April 01, 2018	518095	1 BTC = 10000 CBTC
	Bitcoin Lite	BTCL	Bitcoin	Tuesday, January 30, 2018	0	1 BTC = 1 BTCL
	Bitcoin Atom	BCA	Bitcoin	Wednesday, January 24, 2018	505888	1 BTC = 1 BCA
	Bitcoin Interest	BCI	Bitcoin	Monday, January 22, 2018	505383	1 BTC = 1 BCI
	Bitfolste	BTV	Bitcoin	Sunday, January 21, 2018	505050	1 BTC = 1 BTV
	Bitcoin Smart	BCS	Bitcoin	Sunday, January 21, 2018	505050	1 BTC = 100 BCS
	Bitcoin Rhodium	BTR	Bitcoin	Wednesday, January 10, 2018	0	1 BTC = 1 BTR
	Bitcoin Private	BTCP	Bitcoin	Monday, January 01, 2018	0	1 BTC/ZCL = 1 BTCP
	Bitcoin All	BTA	Bitcoin	Monday, January 01, 2018	0	1 BTC = 1 BTA
	Bitcoin Pizza	BPA	Bitcoin	Monday, January 01, 2018	501888	1 BTC = 1 BPA
	BitcoinSoy	BCB	Bitcoin	Sunday, December 31, 2017	501888	1 BTC = 100 BCB
	Bitcoin One	BCO	Bitcoin	Sunday, December 31, 2017	501949	1 BTC = 1 BCO
	Bitcoin Uranium	BUM	Bitcoin	Sunday, December 31, 2017	0	1 BTC = 1 BUM
	Quantum Bitcoin	QBTC	Bitcoin	Thursday, December 28, 2017	0	1 BTC = 1QBTC
	Bitcoin SegWit2X x11	B2X	Bitcoin	Thursday, December 28, 2017	501451	1 BTC = 1 B2X
	Bitcoin Fiix	BIFI	Bitcoin	Wednesday, December 27, 2017	501225	1 BTC = 1000 BIFI
	Bitcoin God	GOD	Bitcoin	Wednesday, December 27, 2017	501225	1 BTC = 1 GOD
	Bitcoin Top	BTT	Bitcoin	Tuesday, December 26, 2017	501118	1 BTC = 1 BTT

Logo	Fork Name	Fork Symbol	Blockchain	Fork Date	Fork Block	Coin Distribution
	Bitcoin New	BTN	Bitcoin	Monday, December 25, 2017	501000	1 BTC = BTN
	Lightning Bitcoin	LBTC	Bitcoin	Tuesday, December 19, 2017	499999	1 BTC = 1 LBTC
	Bitcoin Stake	BTCS	Bitcoin	Tuesday, December 19, 2017	499999	1 BTC = 100 BTCS
	Bitcoin Faith	BTF	Bitcoin	Tuesday, December 19, 2017	500000	1 BTC = 1 BTF
	Bitcoin World	BTW	Bitcoin	Sunday, December 17, 2017	499777	1 BTC = 10000 BTW
	UnitedBitcoin	UB	Bitcoin	Tuesday, December 12, 2017	498777	1 BTC = 1 UB
	Bitcoin Hot	BTH	Bitcoin	Tuesday, December 12, 2017	498848	1 BTC = 100 BTH
	BitcoinX	BCX	Bitcoin	Tuesday, December 12, 2017	498888	1 BTC = 10000 BCX
	Super Bitcoin	SBTC	Bitcoin	Tuesday, December 12, 2017	498888	1 BTC = 1 SBTC
	Bitcoin Silver	BTSI	Bitcoin	Friday, December 01, 2017	0	1 BTC = 1 BTSI
	Bitcoin Nano	BTN	Bitcoin	Friday, December 01, 2017	501888	1 BTC = 1000 BTN
	Bitcoin Diamond	BCD	Bitcoin	Friday, November 24, 2017	498888	1 BTC = 10 BCD
	Bitcore	BTX	Bitcoin	Thursday, November 02, 2017	0	1 BTC = 0.5 BTX
	Bitcoin Gold	BTG	Bitcoin	Tuesday, October 10, 2017	491407	1 BTC = 1 BTG
	Bytether	BTH	Bitcoin	Tuesday, August 01, 2017	476558	1 BTC = 1 BTH
	Oil BTC	OBTC	Bitcoin	Tuesday, August 01, 2017	498888	1 BTC = 1 OBTC
	Bitcoin Classic	BCHC / S	Bitcoin	Tuesday, August 01, 2017	478558	1 BTC = 1 BCHC / S
	Bitcoin Cash	BCH	Bitcoin	Tuesday, August 01, 2017	478559	1 BTC = 1 BCH

Traçable

Traçable

MONERO

ZCASH

Snark

Limitations

10 minutes = 1 block

Taille des transactions 1 Mo

Limitations

10 minutes = 1 block

Taille des transactions 1 Mo

Lightning Network

ETHEREUM

12 secondes

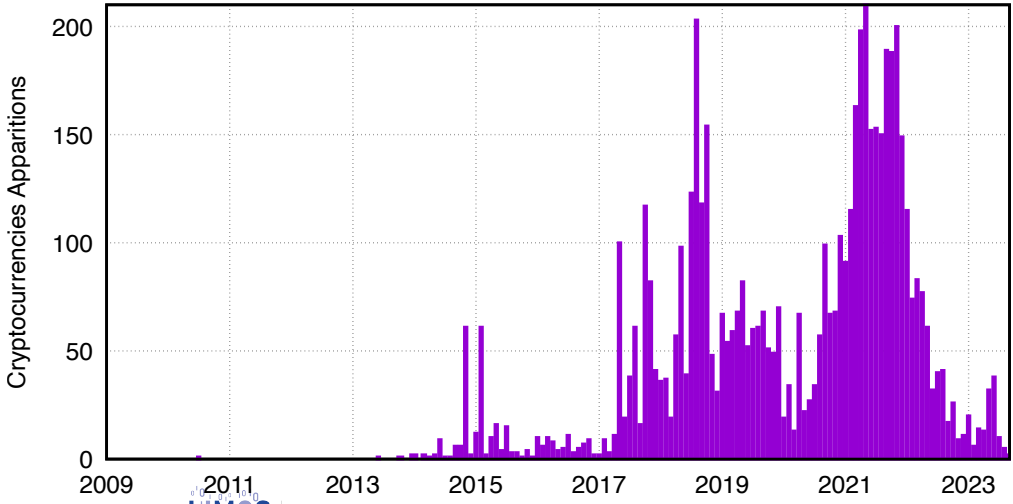
LIMOS
LABORATOIRE D'INFORMATIQUE, DE MODÉLISATION ET D'OPTIMISATION DES SYSTÈMES

Energivore

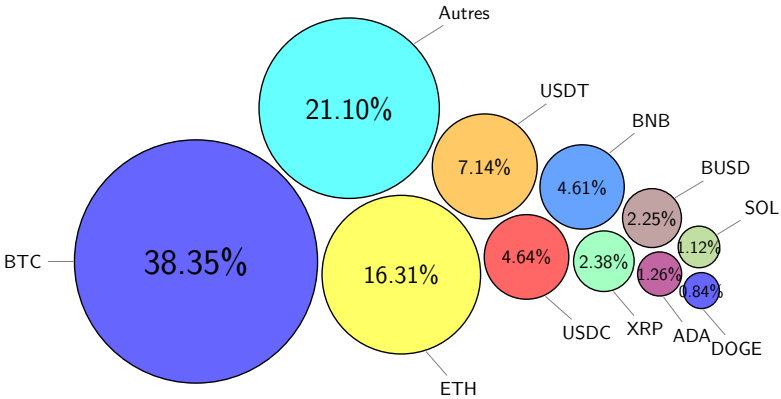
Proof of Stake
Lightning Network

Autres crypto-monnaies

Autres crypto-monnaies

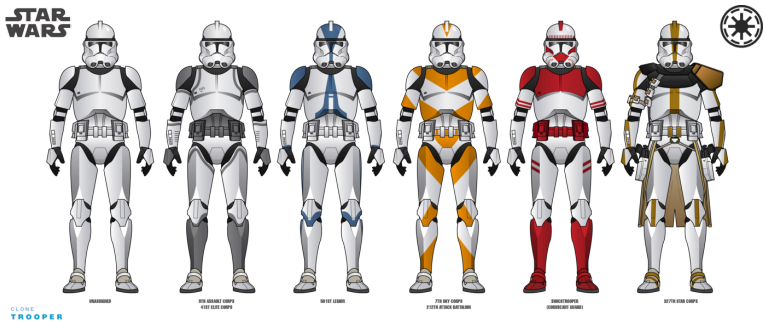


Diversité monétaire



Classification I : Pourris

Classification II : Clones de Bitcoin



Classification III : Plus utile

Classification IV : Autres preuves de travail

Passage à l'échelle ?

- Bitcoin 3-4 transactions / seconde
- Etherum 15 transactions / seconde
- VISA 65 000 transactions / seconde

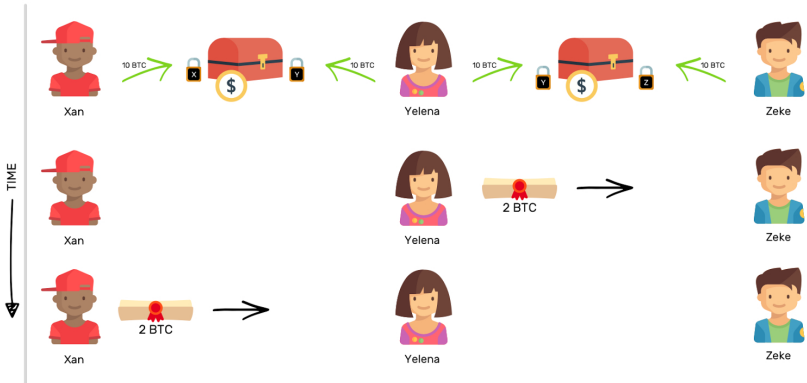
Passage à l'échelle ?

- Bitcoin 3-4 transactions / seconde
- Etherum 15 transactions / seconde
- VISA 65 000 transactions / seconde

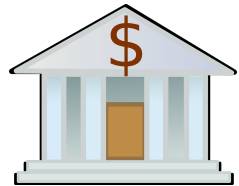
Solutions :

- Augementer la taille des blocs
- Diminuer le temps entre blocs
- Réduire le nombre de transactions sur la chaîne

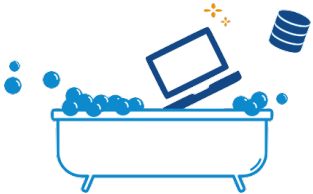
State Channel : Lightning Network



Qui s'approprie ces nouvelles monnnaies ?



Freins



Bitcoin : Crypto-monnaie dématérialisée décentralisée

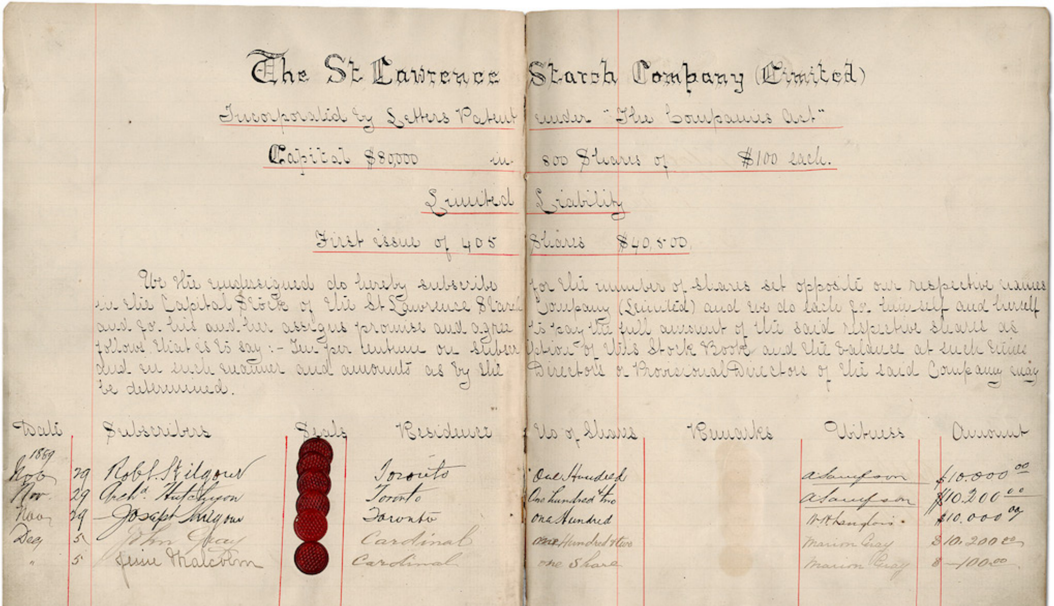
- Preuve de travail = Objectif de Hachage
- Création de la monnaie = récompense aux mineurs
- Miner = difficile + energivore

Bitcoin : Crypto-monnaie dématérialisée décentralisée

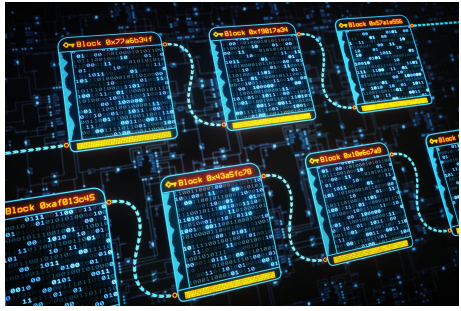
- Preuve de travail = Objectif de Hachage
- Création de la monnaie = récompense aux mineurs
- Miner = difficile + energivore

- Perte ou vol de la clef secrète = irréversible
- Monnaie anonyme et traçable

Blockchain


The St Lawrence Starch Company (Limited)
Incorporated by Letters Patent under "The Companies Act"
Capital $80,000 in 800 Shares of $100 each.
Limited Liability
First issue of 405 Shares $40,500
Date
Subscribers
Seals
Residence
No. of Shares
Remarks
Witness
Amount
1889
Toronto
Toronto
Toronto
Cardinal
Cardinal
One Hundred
One hundred two
One Hundred
Hundred two
One Share
$10.000.00
$10.200.00
$10.000.00
$10.200.00
$100.00

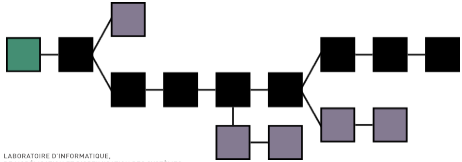
Blockchain



Registre distribué, sécurisé, infalsifiable

Mineurs valident des transactions

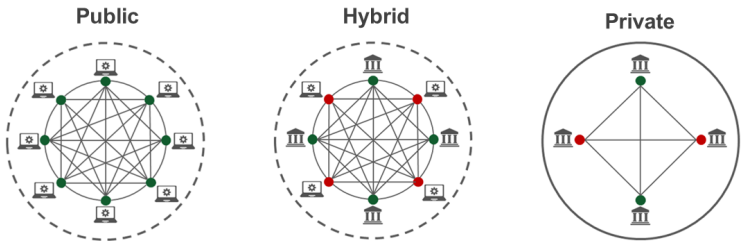
Tiennent à jour le registre distribué



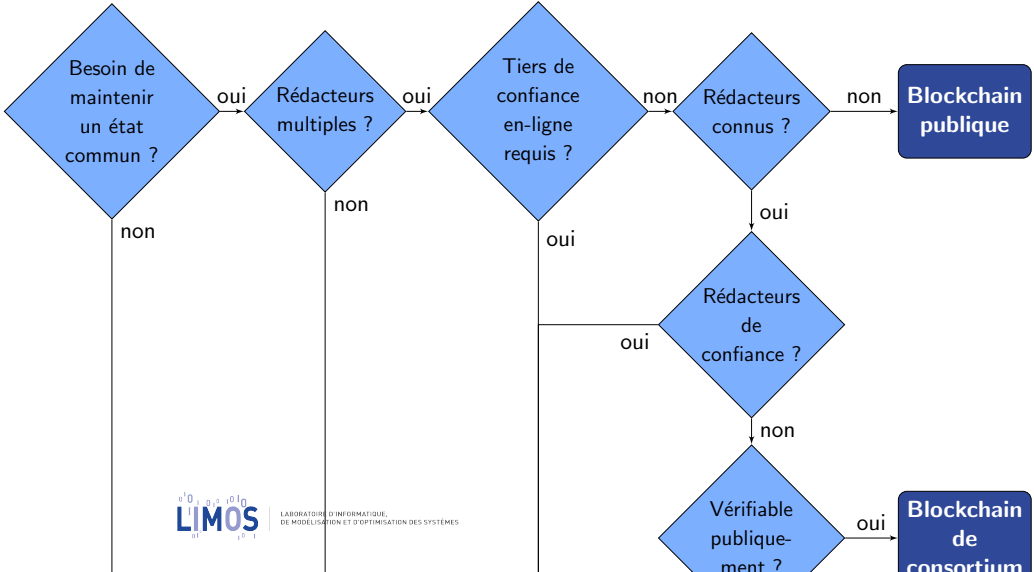
Inarrêtable, Infalsifiable, Auditable

Décision des mineurs

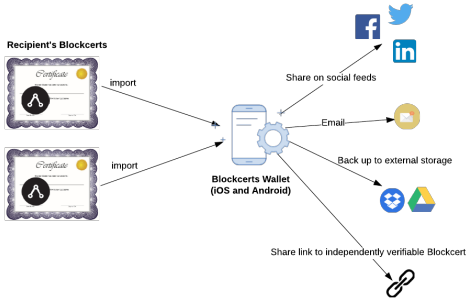
Blockchain Privée vs Publique



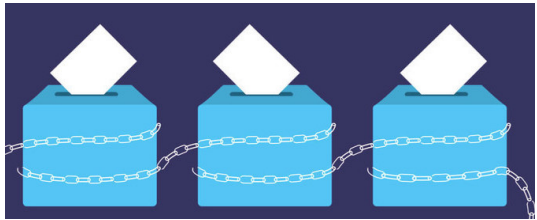
Ai-je besoin d'une blockchain ?



Blockchain Application : MIT Diploma



Blockchain Applications : Verify Your Vote, DABSTERS



Properties

Universal Verifiability, Individual Verifiability, Privacy, Receipt-Freeness, Prevent Double Vote, Vote and Go, ...

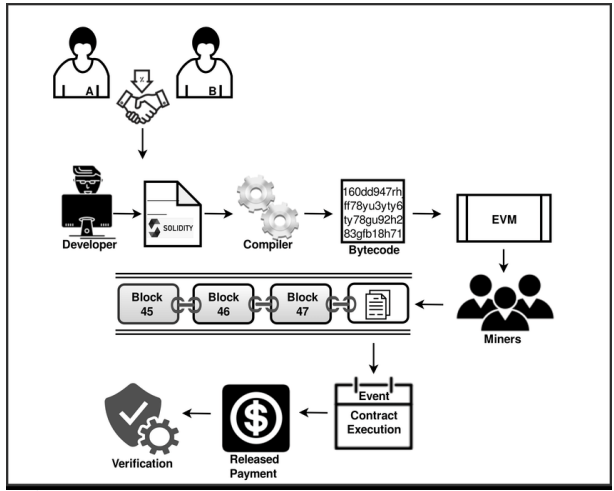
Blockchain Applications : Auction

Properties

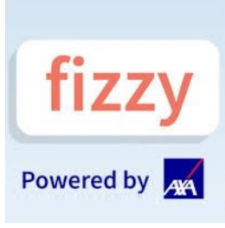
Universal Verifiability, Individual Verifiability, Privacy, Receipt-Freeness, Prevent Double Spedning, Non-Repudiation ...

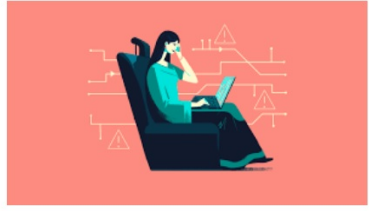
EcoMobiCoin: Proof of Behavior

Smart Contract

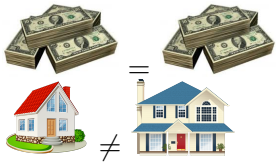


Smart Contract

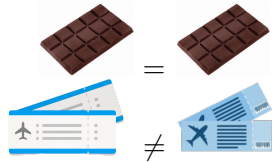




Fungible vs Non-fungible Tokens



Fongible = interchangeable



Non-fongible = individuel

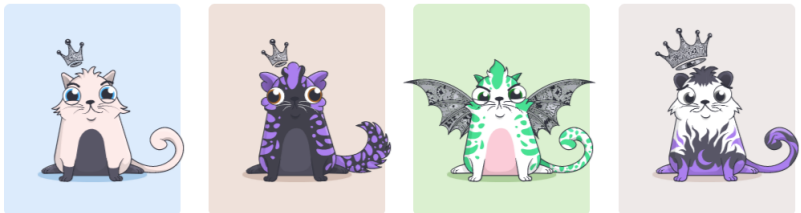
Critère	Fongible	Non-Fongible
Interchangeabilité	interchangeable.	non interchangeable, chacun représentant un unique actif.
Divisibilité	divisible en petites parts	Non divisible
Transfert de valeur	dépend du nombre de jetons possédés.	La valeur de l'actif unique représenté par un NFT

LIMOS LABORATOIRE D'INFORMATIQUE DE MODÉLISATION ET D'OPTIMISATION DES SYSTÈMES

Non-fungible Tokens (NFT)

Definition

Un jeton non-fongible (NFT) est une unité de données unique et non-interchangeable, enregistrée sur un registre distribué.



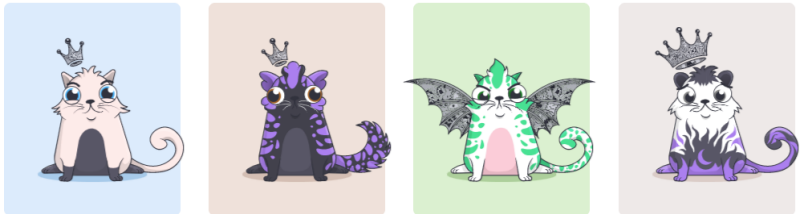
⇨Représente de manière unique des fichiers (image, vidéo, ...)

⇨Certificat d'Authenticité : la propriété prouvée & vérifiée

Non-fungible Tokens (NFT)

Definition

Un jeton non-fongible (NFT) est une unité de données unique et non-interchangeable, enregistrée sur un registre distribué.



⇨Représente de manière unique des fichiers (image, vidéo, ...)

⇨Certificat d'Authenticité : la propriété prouvée & vérifiée

⚠Copies ne sont pas restreintes au possesseur du NFT
(peuvent être copiées et partagées comme tout autre fichier)

LIMOS LABORATOIRE D'INFORMATIQUE, DE MODÉLISATION ET D'OPTIMISATION DES SYSTÈMES

Everydays

Everydays: the First 5000 Days = Œuvre digitale créée par Beeple

- Collage de 5427 images digitales créées par M. Winkelmann pour sa série Everydays
- Le NFT associé vendu pour 69.3 millions via Christie's en 2021

Everydays: the First 5000 Days, detail, *Happy Birthday*, Beeple, ©beeple-crap.com

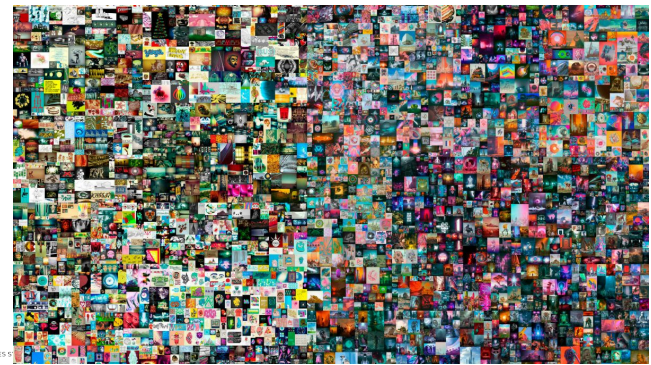
Everydays: the First 5000 Days, detail, *Shitshow*, Beeple, ©beeple-crap.com

Everydays: the First 5000 Days, detail, *Jong*, Beeple, ©beeple-crap.com

Everydays: the First 5000 Days, detail, *Carefree Goat*, Beeple, ©beeple-crap.com

Everydays: the First 5000 Days, detail, *Natural Reboot*, Beeple, ©beeple-crap.com

Everydays: the First 5000 Days, detail, *Worst Case*, Beeple, ©beeple-crap.com



CryptoKitties www.cryptokitties.co

#1353978 (Gén. 15) :

#1812662 (Gén. 4) :

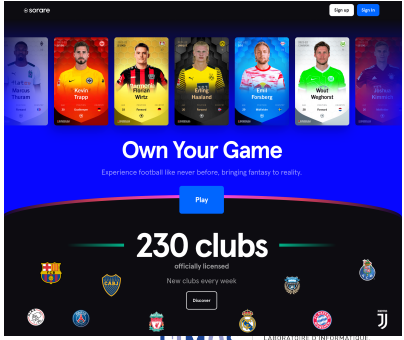
#2011210 : offspring (Gén. 16)

- Projet démarré en 2017 par Axiom Zen
  - Créatures uniques pouvant être échangées, collectionnées, avec reproduction (gérée par contrat intelligent) !
  - Ensemble de 512 bits :
    - 256 bits de gènes (couleur, yeux, queue, etc.) dominant ou récessifs
    - 256 bits pour la date de naissance, l'identité des parents, une information de fertilité
  - Une blockchain est requise pour le NFT asocié :
    - Certifie la propriété du Cryptokitty
    - Contrôle l'évolution du génôme (création, reproduction, vente, etc.)
  - Génération d'image associée par une application "off-chain"

NFT in Card Games and Sport

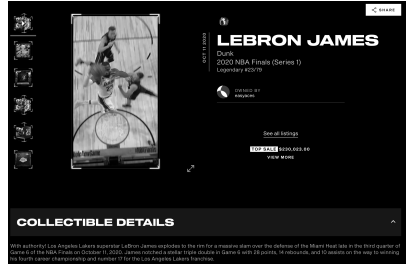
Sorare (Panini like)

- Fantasy Football: stats. d'après les footballeurs réels
- Cartes Sorare comme tokens SOR (ERC-721)
- 150 millions € entre jan. & oct. 2021



NBA Top Shot

- Blockchain Flow
- "Moments" vidéo (dunk, block etc.) distribués par la NBA

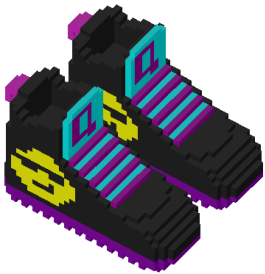


LIMOS
LABORATOIRE D'INFORMATIQUE, DE MODÉLISATION ET D'OPTIMISATION DES SYSTÈMES

NFT dans la mode et les paris

Sneakers virtuels :

Cryptokickers



Garderobe dans le Métavers :

The Fabricant

Casino virtuel géré par une DAO :

Monkey Bet

Courses de chevaux virtuels :

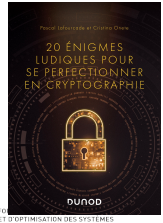
Atized.Run

5 Choses à retenir

- La révolution Blockchain est en marche
- Un formidable outil
- Systèmes décentralisés
- De nombreuses applications mais bien comprendre les limites
- La cryptographie est au centre de la sécurité

Merci pour votre attention

Questions ?



LIMOS
DE MODÉLISATION ET D'OPTIMISATION DES SYSTÈMES