

Optimisation énergétique des cycles PoW

En tant que passionné d'informatique, je me suis très tôt intéressé à la technologie des blockchains, notamment à leurs implications environnementales. Les protocoles de validation de blocs, bien qu'innovants sur le plan de la sécurité, restent extrêmement énergivores, à l'image du mécanisme du Proof-of-Work.

Ce travail s'inscrit pleinement dans le thème Cycles et boucles, puisque le Green-PoW repose sur un processus cyclique de validation par double boucle algorithmique. Il interroge directement les enjeux de durabilité numérique, dans un contexte où la consommation énergétique du numérique devient un enjeu global de société.

Le candidat atteste avoir travaillé en monôme.

Positionnement thématique (ÉTAPE 1) :

- *INFORMATIQUE (Informatique pratique)*
- *MATHEMATIQUES (Autres)*

Mots-clés (ÉTAPE 1) :

Mots-clés (en français) Mots-clés (en anglais)

<i>Blockchain</i>	<i>Blockchain</i>
<i>Consensus</i>	<i>Consensus</i>
<i>Preuve de travail</i>	<i>Proof-Of-Work</i>
<i>Optimisation</i>	<i>Optimisation</i>
<i>Énergie</i>	<i>Energy</i>

Bibliographie commentée

La blockchain est une technologie de stockage et de transmission d'informations qui fonctionne sans organe central. Elle repose sur un système décentralisé où les participants du réseau, appelés noeuds, valident collectivement chaque nouvelle transaction. Pour garantir la sécurité et la fiabilité du système, ces transactions sont regroupées en blocs, qui sont ensuite ajoutés à une chaîne de blocs validés : la blockchain. Pour qu'un bloc soit accepté, il doit être validé à travers

un protocole appelé Proof-of-Work (preuve de travail). Ce protocole oblige les participants, qu'on appelle mineurs, à résoudre un problème mathématique difficile, dont la solution ne peut être trouvée que par une suite d'essais aléatoires. Le premier mineur qui trouve la bonne solution voit son bloc accepté et reçoit une récompense. Ce processus

est répété en boucle pour chaque nouveau bloc.

Ce mécanisme a prouvé son efficacité en termes de sécurité, mais il pose aujourd'hui un problème majeur : sa consommation énergétique. En effet, tous les mineurs du réseau travaillent simultanément à résoudre le même problème, même si un seul d'entre eux sera finalement retenu. La grande majorité des calculs effectués sont donc gaspillés, ce qui engendre une consommation d'énergie considérable. À titre d'exemple, la blockchain Bitcoin consomme aujourd'hui autant d'électricité qu'un pays comme l'Argentine.

Face à cet enjeu, plusieurs alternatives ont vu le jour. L'une d'elles est le Green Proof-of-Work (Green- PoW). Ce protocole propose une modification simple mais efficace du fonctionnement classique : au lieu de laisser tous les mineurs participer jusqu'au bout, seuls quelques finalistes, appelés runner-ups, sont sélectionnés après un premier tour rapide pour continuer la compétition. Cette seconde phase est plus courte, et surtout limitée à un petit nombre de participants, ce qui réduit la consommation globale du système.

Le Green-PoW repose toujours sur les principes de compétition et d'aléa qui font la robustesse de la blockchain, mais il introduit une boucle supplémentaire, mieux ciblée, pour économiser de l'énergie sans sacrifier la sécurité. Plusieurs études ont été menées pour mesurer les gains potentiels de ce protocole, en simulant son comportement sur différents réseaux. Ces études montrent qu'il est possible de réduire significativement la consommation d'énergie tout en conservant les propriétés essentielles d'un système de validation distribué.

Aujourd'hui, alors que la question de l'impact environnemental des technologies numériques devient centrale, le Green-PoW apparaît comme une solution prometteuse. Son approche simple et adaptable pourrait inspirer de futures évolutions des protocoles blockchain dans une perspective plus durable.

Problématique retenue

Comment l'approche Green-PoW peut-elle améliorer l'efficacité énergétique du consensus Proof-of-Work

tout en garantissant la sécurité et la décentralisation du réseau blockchain ?

Objectifs du TIPE du candidat

Je me propose :

D'analyser théoriquement le fonctionnement du protocole Green-PoW, en étudiant comment il modifie la structure du Proof-of-Work classique à travers l'introduction d'un second round sélectif.

De comparer par simulation informatique les consommations énergétiques du PoW classique et du Green-PoW pour différents paramètres (nombre de mineurs, durée de la fenêtre de sélection, timeout).

D'identifier les configurations optimales du protocole Green-PoW, permettant de minimiser l'énergie consommée sans nuire à la sécurité ni à la rapidité de validation des blocs.

Références bibliographiques (ÉTAPE 1)

- [1] LASLA, N., AL-SAHAN, L., ABDALLAH, M., & YOUNIS, M. (2022). : Green-PoW: An Energy- Efficient Blockchain Proof-of-Work Consensus Algorithm. Computer Networks, 214 : <https://arxiv.org/pdf/2007.04086>
- [2] NAKAMOTO, S. (2008) : Bitcoin: A Peer-to-Peer Electronic Cash System. : <https://bitcoin.org/bitcoin.pdf>

DOT

- [1] : *En mars et avril 2025, après la publication du sujet de TIPE par le ministère de l'Éducation nationale portant sur les cycles/boucles, J'ai dû changer de sujet. En effet, le sujet précédent était lié au thème précédent, sur lequel nous avons travaillé pour nous entraîner aux étapes du TIPE*
- [2] : *En mai et juin 2025, j'ai présenté la motivation et le contexte de mon sujet, ainsi que la problématique que j'allais aborder. Ensuite, j'ai précisé les objectifs permettant de résoudre la problématique.*
- [3] : *En novembre et décembre 2025, j'ai rédigé la motivation, le contexte et la problématique de mon sujet. J'ai également effectué une approche fonctionnelle du problème en réalisant une approche énergétique et théorique.*
- [4] : *Durant les mois de février et mars 2026, le travail a été particulièrement complexe. Pour choisir l'algorithme optimal, j'ai dû faire plusieurs simulations probabilistes avec python. ce qui s'est avéré difficile, car il m'a fallu du temps pour trouver la bonne modélisation stochastique.*
- [5] : *En juin 2026, j'ai rédigé le programme de fonctionnement et finalisé la présentation de mon sujet T.I.P.E en concertation avec mon encadrant.*