



Licence MIASHS deuxième année option MIAGE

Rapport de projet informatique S3

BlockchainIA: Blockchain Décentralisée avec Minage PoW et IA

Projet réalisé du 28 Octobre 2025 au 29 Décembre 2025

Lien GitHub: <https://github.com/prianceter/BlockchainIA>

Membres du groupe

PETER CANISIOUS LINTON Priant 44005196
JUDEKEN Anistanroy 44004438

Remerciements

- Nous tenons à remercier chaleureusement nos professeurs d'informatique, M. Delbot et Mme ALAYA, pour leur accompagnement tout au long de ce projet. Leurs conseils éclairés et la manière dont ils nous ont guidés ont été d'une aide précieuse, tant pour la conception que pour la résolution des difficultés rencontrées.
- Nous souhaitons également reconnaître l'apport des outils d'intelligence artificielle qui nous ont apporté un soutien pertinent lors de certaines phases techniques.

Table des matières

1	Introduction	5
1.1	Qu'est-ce qu'une blockchain ?	5
1.2	Comment ça fonctionne ?	5
1.3	Le rôle des mineurs	5
1.4	Notre projet : BlockchainIA	5
2	Environnement de travail	6
3	Description du projet et objectifs	6
3.1	Fichiers principaux	6
3.2	Structure du projet	7
4	Bibliothèques, Outils et technologies	8
5	Travail réalisé	8
5.1	Contribution Individuelle	9
5.2	Rôle de l'Intelligence Artificielle dans le développement	12
5.3	Fonctionnement de l'IA intégrée : Ollama (Llama 3.2)	12
5.3.1	Génération automatique de transactions	12
5.3.2	Analyse conversationnelle	12
5.3.3	Détection d'anomalies	13
5.3.4	Implémentation technique	13
6	Difficultés rencontrées	13
6.1	Compilation du module C++	13
6.2	Optimisation du Proof of Work	13
6.3	Synchronisation réseau	13
6.4	Collaboration à distance	14
6.5	Intégration d'Ollama	14
7	Bilan	14
7.1	Conclusion	14
7.2	Perspectives	14
8	Bibliographie	15
9	Webographie	15
A	Cahier des charges	15
A.1	Objectifs principaux	15
A.2	Fonctionnalités attendues	15
A.2.1	Système Blockchain	15
A.2.2	Minage et Performance	15
A.2.3	Interface web	15
A.3	Contraintes techniques	15
A.4	Livrables	16
A.4.1	Scripts fonctionnels	16
A.4.2	Documentation	16
A.5	Calendrier	16

B Manuel utilisateur	16
B.1 Installation et lancement	16
B.2 Menu terminal	17
B.3 Interface web - Pages disponibles	17
B.4 Export de données	17
B.5 Utilisation de l'IA (Ollama)	17
B.6 Arrêt du système	18
C Annexes	18
C.1 Évolution du projet	18
C.1.1 Création d'une blockchain simple avec blocs et transactions	18
C.1.2 Ajout du système de portefeuilles avec validation des soldes	19
C.1.3 Algorithme de Proof of Work basique en Python	19
C.1.4 Module C++ ultra-rapide pour minage optimisé	20
C.1.5 Système de minage automatique avec génération IA de transactions	21
C.1.6 Implémentation des smart contracts pour gestion automatique des frais	22
C.1.7 Système complet avec sauvegarde JSON et consensus distribué	23
C.1.8 Création d'une page Flask pour afficher les blocs de la blockchain	24
C.2 Intégration de l'IA	25
C.2.1 Fonction generate_ai_transactions() : génération automatique par l'IA	25
C.2.2 Route /analyze-blockchain : dialogue conversationnel avec Ollama	27
C.2.3 Préparation du contexte blockchain pour l'IA	29
C.2.4 Détection automatique de failles et vulnérabilités	31
C.2.5 Analyse de concentration des richesses	33
C.2.6 Détection de monopoles de mineurs (risque attaque 51%)	33
C.2.7 Identification de comportements suspects (wash trading)	35
C.2.8 Détection de transferts circulaires (A→B→A)	36
C.2.9 Évaluation du niveau de gravité des anomalies	37
C.2.10 Communication HTTP avec l'API Ollama	38
C.3 Exemple d'exécution du projet	39

1 Introduction

1.1 Qu'est-ce qu'une blockchain ?

Une blockchain est une technologie de stockage d'informations qui a révolutionné notre façon de concevoir les systèmes numériques depuis l'apparition du Bitcoin en 2008. Il s'agit d'un registre numérique distribué où les données sont répliquées sur des milliers d'ordinateurs à travers le monde.

La particularité de cette technologie, c'est qu'elle fonctionne sans autorité centrale. Contrairement aux systèmes traditionnels où une banque, une entreprise ou un gouvernement contrôle les données, la blockchain repose sur un réseau décentralisé où chaque participant possède une copie identique du registre. Cette architecture garantit la transparence et l'immutabilité des données.

1.2 Comment ça fonctionne ?

Les données sont organisées en "blocs". Chaque bloc regroupe un ensemble de transactions avec leurs détails : qui envoie quoi, à qui, et à quel moment. Une fois validé, un bloc est ajouté à la chaîne existante et ne peut plus être modifié.

Ce qui rend le système particulièrement sécurisé, c'est que chaque bloc contient :

- Les transactions du bloc
- Un horodatage précis
- Une empreinte numérique unique (hash), comme une signature cryptographique
- L'empreinte du bloc précédent, créant ainsi une chaîne ininterrompue

Pour modifier une transaction passée, il faudrait recalculer tous les blocs suivants sur la majorité du réseau, ce qui demande une puissance de calcul colossale et est donc pratiquement impossible.

1.3 Le rôle des mineurs

Les "mineurs" sont des participants qui mettent leur puissance de calcul à contribution pour valider et ajouter de nouveaux blocs. Ils doivent résoudre des problèmes mathématiques complexes (c'est le Proof of Work), et le premier à trouver la solution peut ajouter son bloc à la chaîne.

En échange de ce travail de validation, les mineurs reçoivent une récompense en cryptomonnaie. C'est ce mécanisme qui sécurise l'ensemble du réseau sans nécessiter d'autorité centrale, tout en incitant les participants à contribuer honnêtement au système.

1.4 Notre projet : BlockchainIA

Dans le cadre de ce projet, nous avons développé notre propre blockchain complète et fonctionnelle. Notre système intègre les mécanismes fondamentaux de cette technologie :

- **Proof of Work (PoW)** : Un algorithme de consensus pour valider les blocs de manière sécurisée
- **Transactions sécurisées** : Transferts entre portefeuilles avec signatures cryptographiques
- **Smart Contracts** : Contrats automatiques gérant les frais et récompenses de minage

- **Minage optimisé en C++** : Un module compilé pour maximiser les performances
- **Intelligence Artificielle** : Analyse automatique de la blockchain avec Ollama
- **Interface web** : Visualisation en temps réel de la blockchain

2 Environnement de travail

Pour ce projet, nous avons utilisé :

- Python 3.11 comme langage principal
- Visual Studio Code comme environnement de développement intégré
- C++ pour l'optimisation du minage
- Visual Studio Build Tools pour compiler les modules C++
- Environnement virtuel Python créé avec `python -m venv venv`
- Bibliothèques installées via `pip install -r requirements.txt`
- Ollama pour l'analyse IA de la blockchain

L'exécution du projet nécessite :

1. Activer l'environnement virtuel (`venv\Scripts\activate` sur Windows)
2. Compiler le module C++ : `python setup.py build_ext -inplace`
3. Lancer le script principal `main.py`
4. Accéder à l'interface via `http://localhost:5003`

3 Description du projet et objectifs

3.1 Fichiers principaux

Le projet vise à développer une blockchain décentralisée complète avec un système de Proof of Work optimisé, des transactions sécurisées, des smart contracts, et une analyse IA avancée. La structure du projet comprend plusieurs modules principaux :

- `main.py` : Point d'entrée de l'application (menu terminal et serveur Flask)
- `blockchain/blockchain.py` : Gestion de la chaîne de blocs, consensus et portefeuilles
- `blockchain/block.py` : Classe Block avec calcul de hash et minage
- `blockchain/transaction.py` : Système de transactions avec signatures
- `blockchain/fees_contract.py` : Smart contracts pour frais de minage
- `core/mining.py` : Algorithmes de minage automatique et IA
- `core/routes.py` : Interface web Flask (API REST et pages HTML)
- `mine_module.cpp` : Module C++ pour optimisation du minage PoW
- `blockchain_data.json` : Sauvegarde persistante de la blockchain
- `blockchain.db` : Base de données SQLite pour analyse
- `templates/` : Pages HTML (blocks, transactions, miners, analyse IA)

3.2 Structure du projet

Le projet est organisé comme suit :

```
blockchainIA/
  main.py          # Point d'entrée principal
  mine_pow.cpp    # Code source C++ du module de minage
  mine_module.pyi # Interface Python pour typage
  mine_module.cp311-win_amd64.pyd # Module C++ compilé
  setup.py         # Script de compilation C++
  requirements.txt # Dépendances Python
  blockchain_data.json # Sauvegarde de la blockchain
  blockchain.db    # Base de données SQLite
  ai/              # Module IA
    | __init__.py
    | generator.py   # Génération transactions avec Ollama
  blockchain/      # Module blockchain
    | __init__.py
    | blockchain.py  # Classe Blockchain principale
    | block.py        # Classe Block
    | transaction.py # Classe Transaction
    | fees_contract.py # Smart Contracts
  core/             # Logique métier
    | __init__.py
    | mining.py       # Algorithmes de minage
    | routes.py       # Routes Flask (API + pages)
    | utils.py        # Fonctions utilitaires
    | db.py           # Gestion base SQLite
  templates/        # Pages HTML
    | base.html       # Template de base (parent)
    | home.html       # Tableau de bord
    | blocks_list.html # Liste des blocs
    | block_detail.html # Détail d'un bloc
    | transactions_list.html # Liste transactions
    | transaction_detail.html # Détail transaction
    | miners_simple.html # Statistiques mineurs
    | adresse.html    # Historique portefeuille
    | audit.html      # Audit de portefeuille
    | blockchain_analysis.html # Analyse IA
    | security.html   # Sécurité IA
    | download.html   # Téléchargement projet
    | error.html      # Page d'erreur
  venv/             # Environnement virtuel Python
```

4 Bibliothèques, Outils et technologies

Voici les outils que nous avons utilisés, expliqués simplement :

- **Flask** : Crée les pages web que vous voyez dans votre navigateur
- **hashlib** : Crée les signatures numériques (empreintes) qui protègent chaque bloc
- **C++** : Un langage très rapide qui accélère le minage de 10 à 50 fois
- **time, datetime** : Enregistre l'heure exacte de chaque transaction
- **json** : Sauvegarde la blockchain dans des fichiers lisibles
- **os** : Interagit avec votre ordinateur (fichiers, dossiers)
- **random** : Génère des adresses de portefeuilles aléatoires
- **signal** : Permet d'arrêter proprement le programme avec CTRL+C
- **io** : Crée des fichiers PDF et CSV pour les exports
- **Ollama (Llama 3.2)** : L'intelligence artificielle qui analyse la blockchain et détecte les problèmes
- **threading, Queue** : Fait tourner plusieurs tâches en même temps (minage, sauvegarde, IA)
- **SQLAlchemy** : Gère la base de données pour les analyses avancées
- **requests** : Permet aux ordinateurs de se parler entre eux sur le réseau
- **pybind11** : Fait le lien entre le code Python et le code C++
- **reportlab** : Crée des rapports PDF pour les audits de portefeuilles

5 Travail réalisé

Le travail s'est divisé en deux contributions majeures :

Prian : Blockchain Core et Optimisation C++

- **Architecture de base** : J'ai développé les classes `Block`, `Transaction`, et `Blockchain` avec calcul de hash SHA-256 (empreinte cryptographique unique) et validation de chaîne.
- **Système de portefeuilles** : J'ai créé un système de gestion des adresses (format 0x...), avec validation automatique des soldes et historique complet par portefeuille.
- **Module C++** : J'ai optimisé le Proof of Work (système de validation des blocs) avec pybind11, multipliant les performances par 10 à 50.
- **Minage automatique** : J'ai implémenté un thread en arrière-plan avec `Queue` pour gérer les transactions, générer des données IA et diffuser les blocs sur le réseau.

Anistanroy : Smart Contracts, Interface Web et IA

- **Smart Contracts** : J'ai conçu un système modulaire avec `mining_fee_contract` pour distribuer automatiquement les récompenses aux mineurs (ceux qui valident les blocs).
- **Persistante et consensus** : J'ai mis en place la sauvegarde automatique en JSON et l'algorithme "chaîne la plus longue" pour synchroniser les différents nœuds du réseau.
- **Interface Flask** : J'ai développé plus de 15 pages web avec dashboard, exploration détaillée de blocs/transactions et exports de données CSV.
- **IA Ollama** : J'ai intégré l'intelligence artificielle pour l'analyse conversationnelle, la génération automatique de transactions et la détection d'anomalies de

sécurité.

5.1 Contribution Individuelle

Prian : Blockchain Core et Optimisation C++

Étape 1 : Blockchain de Base

Requête : "Crée moi une blockchain simple en Python avec des blocs et des transactions"

Réponse : voir annexe C.1.1

J'ai commencé par développer les fondations de la blockchain. L'IA m'a générée une structure minimaliste avec les fonctions essentielles : `calculate_hash()` pour créer l'empreinte SHA-256 de chaque bloc, `add_block()` pour ajouter un bloc à la chaîne, et `is_valid_chain()` pour vérifier l'intégrité. Chaque bloc stocke son index, un timestamp (horodatage), les transactions, et le hash du bloc précédent. Cette base m'a permis de construire les fondations nécessaires aux développements suivants.

Étape 2 : Système de Portefeuilles

Requête : "Ajoute un système de portefeuilles avec validation des soldes"

Code : voir annexe C.1.2

J'ai ensuite développé le système de portefeuilles. J'ai implémenté les fonctions `get_balance()` pour récupérer le solde d'une adresse, `create_transaction()` qui vérifie automatiquement la disponibilité des fonds avant chaque transfert, et `get_wallet_history()` pour l'historique complet des transactions. Les adresses utilisent le format hexadécimal 0x... (16 caractères). Le système refuse automatiquement toute transaction si le solde est insuffisant, garantissant ainsi l'intégrité financière de la blockchain. J'ai également mis en place un ledger global (registre centralisé) qui conserve la trace de toutes les opérations.

Étape 3 : Minage Python Basique

Requête : "Comment créer un algorithme de Proof of Work ?"

Code : voir annexe C.1.3

J'ai développé un algorithme de Proof of Work (PoW), qui est le mécanisme de sécurité central d'une blockchain. Le principe : pour ajouter un bloc, il faut résoudre un problème mathématique difficile. Concrètement, on cherche un nombre appelé "nonce" qui, combiné aux données du bloc, produit un hash (empreinte numérique) commençant par un certain nombre de zéros. Plus il y a de zéros requis, plus c'est difficile. Le processus est itératif : on teste des millions de nombres jusqu'à trouver le bon. Cette version Python était lente (plusieurs secondes par bloc) mais fonctionnelle, posant les bases pour les optimisations futures.

Étape 4 : Module C++ Ultra-Rapide

Requête : "Crée un module C++ pour miner plus vite"

Code : voir annexe C.1.4

J'ai créé le module `mine_pow.cpp` en C++, un langage beaucoup plus rapide que Python pour les calculs intensifs. Le C++ permet des optimisations "bas-niveau" : manipulation directe des bits en mémoire, ce qui accélère considérablement les calculs de hash. L'intégration avec Python se fait grâce à `pybind11`, une bibliothèque qui fait le pont entre les deux langages. Après compilation, on obtient un fichier `.pyd` que Python peut utiliser directement comme s'il s'agissait de code Python. Résultat : les performances sont multipliées par 10 à 50, rendant le minage quasi-instantané pour des difficultés moyennes. C'est comme passer d'une calculatrice à un supercalculateur.

Étape 5 : Minage Automatique avec Threading

Requête : *"Minage automatique en arrière-plan avec IA"*

Code : voir annexe C.1.5

J'ai finalisé le système avec le minage automatique via `auto_miner()`, qui s'exécute en arrière-plan grâce à `threading.Thread` (mécanisme Python pour exécuter du code en parallèle sans bloquer le programme principal). J'utilise une `Queue` (file d'attente thread-safe) pour gérer les transactions en attente de validation. Le système lance 4 threads simultanés : génération de transactions IA (`prefill_ai_queue()`), sauvegarde automatique (`auto_save_thread()`), minage continu (`auto_miner()`), et menu interactif (`run_menu()`). La fonction `generate_ai_transactions()` communique avec Ollama pour créer des transactions réalistes, et `broadcast_block()` envoie les nouveaux blocs aux autres nœuds du réseau via requêtes HTTP. Le système est ainsi devenu complètement autonome.

Anistanroy : Smart Contracts, Interface Web et IA

Étape 1 : Smart Contracts

Requête : *"Implémente des smart contracts pour les frais de minage"*

Code : voir annexe C.1.6

J'ai développé le système de smart contracts (contrats intelligents auto-exécutables). J'ai créé une classe `SmartContract` avec une méthode `execute()` pour déclencher la logique du contrat. Le contrat principal `mining_fee_contract` calcule automatiquement 5€ de base plus la somme des frais de transaction, puis attribue la récompense au mineur gagnant. J'ai intégré une gestion d'erreurs avec `try-except` pour garantir la stabilité du système en cas de dysfonctionnement d'un contrat.

Étape 2 : Persistance JSON

Requête : *"Ajoute sauvegarde/chargement automatique"*

Code : voir annexe C.1.7

J'ai ensuite implémenté la persistance des données. La fonction `save_data()` sérialise l'intégralité de la blockchain au format JSON dans le fichier `blockchain_data.json` après chaque modification. Pour cela, j'ai développé `to_dict()` qui convertit tous les objets Python (blocs, transactions) en dictionnaires sérialisables. À l'inverse, `load_data()` recharge les données au démarrage via `from_dict()` qui reconstruit les objets. Ce mécanisme assure la persistance des données entre les redémarrages de l'application.

Étape 3 : Consensus Distribué

Requête : "Synchronisation entre nœuds avec consensus"

Code : voir annexe C.1.7

Pour le réseau distribué, j'ai implémenté `resolve_conflicts()` qui applique l'algorithme de consensus "chaîne la plus longue" (principe selon lequel la blockchain valide la plus longue fait autorité). Cette fonction récupère les chaînes des autres nœuds du réseau via requêtes HTTP, puis `is_valid_chain()` vérifie l'intégrité du chaînage des hash et la cohérence des transactions. Si une chaîne plus longue et valide est détectée, elle remplace automatiquement la chaîne locale. La communication entre nœuds s'effectue via des requêtes HTTP REST.

Étape 4 : Interface Flask de Base

Requête : "Crée interface Flask pour visualiser la blockchain"

Code : voir annexe C.1.8

J'ai développé l'interface web Flask avec Jinja2 et Tailwind CSS : `base.html` (template parent), `home.html` (dashboard), `blocks_list.html`, `transactions_list.html` (tableaux avec export CSV), `error.html`. Routes principales : `@app.route('/')`, `/blocks`, `/transactions`.

Étape 5 : Pages Détailées et Fonctionnalités Avancées

Requête : "Ajoute pages de détails pour blocs et transactions"

Code : voir annexes 1 et 2

J'ai ajouté les pages spécialisées : `block_detail.html`, `transaction_detail.html`, `miners.html` (statistiques), `adresse.html` (historique portefeuille), `audit.html` (analyse avec graphiques et PDF), `download.html` (exports du projet - voir annexe 6). Fonction principale : `export_to_csv()` pour générer les fichiers CSV.

Étape 6 : Intégration Ollama et Pages IA

Requête : "Intègre Ollama pour analyse automatique"

Code : `core/routes.py`, `templates/blockchain_analysis.html`

J'ai intégré l'IA Ollama : `blockchain_analysis.html` (chat conversationnel) et `security.html` (détection d'anomalies). L'analyse des comportements suspects (richesse >30%, mineurs >40%, montants répétitifs) est effectuée directement dans les routes Flask. Interface AJAX pour communication avec Ollama.

Prian et Anistanroy : Intégration et Tests Réseau

Code et tests : voir annexes 3 (synchro), 4 (mineurs), 7 (auto-miner) et 8 (ZeroTier)

Après avoir développé nos parties respectives, nous avons procédé à l'intégration complète du système. Pour tester le fonctionnement distribué de la blockchain, nous avons utilisé ZeroTier, un VPN (Virtual Private Network) qui crée un réseau local virtuel. Après installation et connexion au même réseau ZeroTier, chacun dispose d'une adresse IP locale (192.168.x.x) accessible à distance, simulant ainsi un véritable réseau local.

Cette configuration nous a permis de tester les fonctionnalités réseau :

- **Enregistrement de pairs** : Via le menu terminal, l'option 5. Enregistrer un Pair permet d'ajouter l'adresse d'un nœud distant au réseau
- **Synchronisation** : `resolve_conflicts()` récupère les blockchains des pairs et applique l'algorithme de consensus
- **Diffusion** : `broadcast_block()` envoie automatiquement chaque nouveau bloc miné à tous les pairs enregistrés

Nous avons également intégré le module C++ avec le code Python. Le module `mine_pow.cpp` est compilé en `mine_module.cp311-win_amd64.pyd` via la commande `python setup.py build_ext -inplace`, puis importé automatiquement au démarrage, assurant ainsi des performances optimales pour le minage.

Les tests via ZeroTier ont validé le bon fonctionnement du consensus distribué, de la synchronisation automatique et de la résolution de conflits entre nœuds distants.

5.2 Rôle de l'Intelligence Artificielle dans le développement

Les outils d'IA (ChatGPT, DeepSeek, GitHub Copilot) ont accéléré notre développement en générant du code initial (comme détaillé dans la section 5.1), en expliquant des concepts complexes (Proof of Work, consensus distribué, cryptographie SHA-256) et en résolvant les erreurs techniques. Pour corriger les bugs rencontrés, l'IA a notamment créé `is_valid_chain()` pour détecter les incohérences de hachage, `resolve_conflicts()` pour gérer les divergences entre nœuds, et des mécanismes de gestion des erreurs HTTP (`timeout=`, `try-except requests.exceptions`). Cette assistance nous a permis de nous concentrer sur l'architecture globale et l'intégration des composants.

5.3 Fonctionnement de l'IA intégrée : Ollama (Llama 3.2)

Nous avons intégré Ollama (modèle Llama 3.2) directement dans la blockchain pour l'analyse intelligente (voir annexes 5 interface analyse et C.2.1 code génération). L'exécution locale garantit confidentialité et rapidité sans dépendance externe.

5.3.1 Génération automatique de transactions

La fonction `generate_ai_transactions()` (voir annexe C.2.1) génère des transactions réalistes pour alimenter la blockchain. Le système sélectionne aléatoirement des portefeuilles via `random.choice()`, détermine des montants avec `random.uniform(100, 3000)` et Ollama génère les paires expéditeur-destinataire via l'API `chat()` du module ollama. Implémentation : `ai/generator.py`.

5.3.2 Analyse conversationnelle

L'interface `blockchain_analysis.html` (voir annexe C.2.2) permet de dialoguer avec Ollama pour obtenir des analyses de la blockchain : statistiques ("Combien de blocs ?"), analyses avancées ("Distribution de richesse ?"), et recommandations ("Améliorer la sécurité ?"). La communication avec Ollama s'effectue via l'API `chat()` du module Python ollama. Page accessible : `/blockchain-analysis`.

5.3.3 Détection d'anomalies

La page `/security` (voir annexe C.2.4) analyse automatiquement la blockchain pour détecter les comportements suspects. Le système évalue :

- Concentration de richesse : portefeuilles détenant $>30\%$ du capital total
 - Dominance de mineurs : mineurs ayant produit $>40\%$ des blocs
 - Patterns suspects : montants identiques répétés (wash trading), transactions à haute fréquence
 - Transferts anormaux : montants représentant $>80\%$ du solde d'un portefeuille
- Chaque anomalie reçoit un niveau de gravité (high/medium/low). Implémentation : `core/routes.py`, fonction `view_security()`.

5.3.4 Implémentation technique

L'architecture repose sur le module Python `ollama` qui effectue des requêtes vers `http://localhost:11434/api/generate`. La fonction `chat()` du module `ollama` gère la communication avec le serveur Ollama local. Les données de la blockchain sont formattées en contexte textuel avant d'être envoyées, et les réponses sont affichées directement dans l'interface web via AJAX.

6 Difficultés rencontrées

6.1 Compilation du module C++

La compilation du module C++ a représenté un défi majeur, notamment en raison des différences entre plateformes. Sous Windows, Visual Studio Build Tools nécessitait une configuration précise des chemins d'accès et des variables d'environnement. Nous avons dû installer manuellement les outils de compilation, configurer les chemins système (variables PATH), et résoudre plusieurs erreurs où le compilateur ne trouvait pas certaines bibliothèques nécessaires. Le module C++ étant obligatoire pour le minage, l'application refuse de démarrer si la compilation échoue, ce qui nous a forcés à maîtriser le processus de compilation avec `pybind11`.

6.2 Optimisation du Proof of Work

L'équilibre entre rapidité et sécurité du Proof of Work a nécessité de nombreux ajustements. Une difficulté trop faible rendait le système vulnérable aux attaques, tandis qu'une difficulté trop élevée ralentissait excessivement le minage. Nous avons dû effectuer des tests approfondis pour trouver le paramétrage optimal.

6.3 Synchronisation réseau

La gestion de la synchronisation entre nœuds distants via ZeroTier a révélé plusieurs problèmes imprévus :

- **Timeouts réseau** : Les requêtes HTTP entre nœuds échouaient parfois en raison de latences variables
- **Ordre des blocs** : Les blocs arrivaient parfois dans le désordre, nécessitant un mécanisme de réorganisation
- **Conflits simultanés** : Deux nœuds minant simultanément créaient des branches divergentes, testant ainsi notre algorithme de consensus

- **Perte de connexion** : La gestion de la reconnexion automatique et de la resynchronisation complète a dû être implémentée

6.4 Collaboration à distance

La collaboration à distance a exigé une communication rigoureuse via Discord pour coordonner nos efforts et éviter les conflits dans le code. L'utilisation de Git pour le versioning et la gestion des branches a été essentielle.

6.5 Intégration d'Ollama

L'intégration d'Ollama pour la génération de transactions et l'analyse de la blockchain a nécessité des ajustements manuels :

- Amélioration des questions posées à l'IA pour obtenir des réponses pertinentes et bien organisées
- Gestion des délais d'attente quand l'IA prend du temps à répondre aux questions complexes
- Lecture et interprétation des réponses de l'IA qui n'étaient pas toujours parfaitement formatées
- Trouver le bon compromis entre la précision des analyses et la rapidité des réponses

7 Bilan

7.1 Conclusion

Ce projet a été une expérience enrichissante qui nous a permis de découvrir le monde fascinant de la blockchain et des cryptomonnaies tout en développant de nombreuses compétences techniques.

Grâce à ce travail, nous avons beaucoup progressé en Python, découvert les bases de la programmation C++ pour rendre les calculs plus rapides, appris comment sécuriser des données avec le hachage SHA-256, et compris comment plusieurs ordinateurs peuvent se mettre d'accord sur une même version de la blockchain. Nous avons également appris à travailler en équipe à distance en utilisant Discord pour communiquer et Git pour organiser notre code, et nous avons surmonté ensemble les nombreux défis techniques rencontrés.

Fiers du résultat obtenu et de tout ce que nous avons appris, nous sommes motivés à continuer notre exploration de ce domaine passionnant.

7.2 Perspectives

- **Connexion directe via Internet** : Connecter les ordinateurs directement sans réseau local
- **Proof of Stake** : Remplacer le système actuel par un système moins gourmand en électricité
- **Smart Contracts avancés** : Créer un langage pour des contrats plus complexes
- **IA prédictive** : Anticiper les comportements suspects avec l'apprentissage automatique
- **Application mobile** : Consulter et gérer la blockchain depuis un smartphone

8 Bibliographie

- Documentation officielle de Python 3.11 et Flask
- Satoshi Nakamoto - Bitcoin : A Peer-to-Peer Electronic Cash System (2008)
- Cours de cryptographie (SHA-256, signatures numériques)

9 Webographie

- ChatGPT et Gemini : Suggestions de code et explications techniques
- GitHub Copilot : Génération de code et résolution des erreurs
- Ollama Documentation : Intégration IA
- Visual Studio Build Tools : Compilation C++
- Tutoriels C++ pour Python (pybind11, Boost.Python)

A Cahier des charges

A.1 Objectifs principaux

- Créer une blockchain décentralisée complète avec Proof of Work
- Implémenter un système de transactions sécurisées avec signatures
- Développer une interface web pour visualiser et analyser la blockchain
- Intégrer l'IA pour analyse automatique et génération de données

A.2 Fonctionnalités attendues

A.2.1 Système Blockchain

- Crédit et validation de blocs avec calcul de hash SHA-256
- Algorithme de consensus (chaîne la plus longue)
- Gestion de portefeuilles avec soldes et historiques
- Synchronisation entre nœuds distribués

A.2.2 Minage et Performance

- Module C++ pour minage ultra-rapide (mine_module)
- Proof of Work avec difficulté ajustable
- Minage automatique en arrière-plan
- Récompenses de bloc et frais de transaction via smart contracts

A.2.3 Interface web

- Affichage des blocs, transactions, et statistiques
- Exploration détaillée (détails de bloc/transaction)
- Export CSV pour analyse externe
- Analyse IA conversationnelle avec Ollama
- Audit de portefeuille complet

A.3 Contraintes techniques

- Langage : Python 3.11

- Bibliothèques :
 - Flask (interface web)
 - hashlib (cryptographie)
 - sqlite3 (persistance)
 - threading/Queue (concurrence)
- Module C++ : mine_module pour optimisation du minage
- Compilation : Visual Studio Build Tools (Windows) ou gcc (Linux)
- Outils externes :
 - Ollama (Llama 3.2) pour analyse IA
 - GitHub Copilot pour l'assistance au codage

A.4 Livrables

A.4.1 Scripts fonctionnels

- main.py : Point d'entrée (menu + serveur Flask)
- blockchain/*.py : Modules blockchain
- core/*.py : Logique métier (minage, routes, utils, db)
- mine_pow.cpp : Module C++ optimisé
- templates/*.html : Interface web complète

A.4.2 Documentation

- Manuel utilisateur (installation, compilation, utilisation)
- Rapport détaillé (architecture, contributions, défis)

A.5 Calendrier

- Phase 1 : Développement de la blockchain de base (blocs, transactions)
- Phase 2 : Implémentation du minage et module C++
- Phase 3 : Création de l'interface web Flask
- Phase 4 : Intégration Ollama et analyse IA
- Phase 5 : Tests, optimisation et synchronisation réseau

B Manuel utilisateur

B.1 Installation et lancement

1. Créer l'environnement virtuel :

```
python -m venv venv
```

2. Activer l'environnement virtuel :

```
# Windows
venv\Scripts\activate
# Linux/Mac
source venv/bin/activate
```

3. Se placer dans le répertoire du projet :

```
cd d:\blockchainIA
```

4. Installer les dépendances Python :

```
pip install -r requirements.txt
```

5. Compiler le module C++, dans le compilateur, activer le venv puis se placer dans dans cd d : b l o c k c h a i n I A :

```
python setup.py build_ext --inplace
```

6. Lancer l'application :

```
python main.py
```

7. Accès à l'interface web :

- Ouvrir <http://localhost:5003> dans un navigateur

B.2 Menu terminal

L'application propose un menu interactif avec les options suivantes :

- 1. Miner manuellement : Mine un nombre spécifique de blocs
- 2. Afficher la blockchain : Visualise tous les blocs et transactions
- 3. Afficher les transactions échouées : Liste les transactions rejetées
- 4. Consulter un portefeuille : Affiche solde et historique
- 5. Enregistrer un Pair : Ajoute un nœud au réseau
- 6. Synchroniser la Chaîne : Lance le consensus avec les pairs
- 0. Quitter : Arrête l'application

B.3 Interface web - Pages disponibles

- / : Tableau de bord avec statistiques globales
- /blocks : Liste complète des blocs
- /block/<index> : Détails d'un bloc spécifique
- /transactions : Liste de toutes les transactions
- /transaction/<id> : Détails d'une transaction
- /miners : Statistiques des mineurs
- /adresse/<wallet> : Historique d'un portefeuille
- /audit : Audit complet d'un portefeuille
- /blockchain-analysis : Analyse IA de la blockchain
- /security : Sécurité et détection d'anomalies
- /download : Télécharger le projet

B.4 Export de données

L'application permet d'exporter les données sous plusieurs formats :

- /export/blocks.csv : Export CSV de tous les blocs
- /export/transactions.csv : Export CSV des transactions
- /export/transactions-for-address.csv?address=<wallet> : Transactions d'un portefeuille

B.5 Utilisation de l'IA (Ollama)

Pour utiliser l'analyse IA, Ollama doit être installé et en fonctionnement :

```
# Installer Ollama (ollama.ai)
# Lancer le modèle Llama 3.2
ollama run llama3.2
```

L'IA permet :

- Poser des questions sur la blockchain via le bouton chat
- Analyser automatiquement les tendances et anomalies
- Générer des transactions réalistes pour tests

B.6 Arrêt du système

- Dans le menu terminal : Tapez 0
- Ou utilisez Ctrl+C pour arrêter l'application et le serveur Flask

C Annexes

C.1 Évolution du projet

C.1.1 Création d'une blockchain simple avec blocs et transactions

```
import hashlib
import time

class Block:
    def __init__(self, index, transactions, previous_hash):
        self.index = index
        self.timestamp = time.time()
        self.transactions = transactions
        self.previous_hash = previous_hash
        self.hash = self.calculate_hash()

    def calculate_hash(self):
        block_string = f"{self.index}{self.timestamp}{self.
            transactions}{self.previous_hash}"
        return hashlib.sha256(block_string.encode()).hexdigest
            ()

class Blockchain:
    def __init__(self):
        self.chain = [self.create_genesis_block()]

    def create_genesis_block(self):
        return Block(0, [], "0")

    def add_block(self, transactions):
        previous_block = self.chain[-1]
        new_block = Block(len(self.chain), transactions,
            previous_block.hash)
        self.chain.append(new_block)
        return new_block

    def is_valid_chain(self):
```

```

        for i in range(1, len(self.chain)):
            current = self.chain[i]
            previous = self.chain[i-1]
            if current.hash != current.calculate_hash():
                return False
            if current.previous_hash != previous.hash:
                return False
        return True
    
```

C.1.2 Ajout du système de portefeuilles avec validation des soldes

```

class Blockchain:
    def __init__(self):
        self.chain = [self.create_genesis_block()]
        self.wallets = {} # Format: {address: balance}

    def get_balance(self, address):
        """Calcule le solde actuel d'une adresse"""
        if address not in self.wallets:
            self.wallets[address] = 0.0
        return self.wallets[address]

    def create_transaction(self, sender, receiver, amount):
        """Cree une transaction avec verification du solde"""
        if self.get_balance(sender) < amount:
            print(f"Erreur: Solde insuffisant pour {sender}")
            return None

        # Deduire du sender
        self.wallets[sender] -= amount
        # Crediter le receiver
        if receiver not in self.wallets:
            self.wallets[receiver] = 0.0
        self.wallets[receiver] += amount

        return {'sender': sender, 'receiver': receiver, 'amount':
               ': amount'}

    def get_wallet_history(self, address):
        """Retourne l'historique complet d'un portefeuille"""
        history = []
        for block in self.chain:
            for tx in block.transactions:
                if tx['sender'] == address or tx['receiver'] ==
                   address:
                    history.append((block.index, tx))
        return history
    
```

C.1.3 Algorithme de Proof of Work basique en Python

```

import hashlib
import time

class Block:
    def __init__(self, index, transactions, previous_hash,
                 difficulty=4):
        self.index = index
        self.timestamp = time.time()
        self.transactions = transactions
        self.previous_hash = previous_hash
        self.difficulty = difficulty
        self.nonce = 0
        self.hash = None

    def calculate_hash(self):
        """Calcule le hash du bloc avec le nonce actuel"""
        block_string = f"{self.index}{self.timestamp}{self.
            transactions}{self.previous_hash}{self.nonce}"
        return hashlib.sha256(block_string.encode()).hexdigest
            ()

    def mine_block(self):
        """Algorithme Proof of Work : trouve un hash avec N
        zeros au debut"""
        target = '0' * self.difficulty
        start_time = time.time()

        while True:
            self.hash = self.calculate_hash()

            # Vérifie si le hash commence par le nombre requis
            # de zeros
            if self.hash[:self.difficulty] == target:
                elapsed = time.time() - start_time
                print(f"Bloc {self.index} mine en {elapsed:.2f}
                      s avec nonce={self.nonce}")
                return self.hash

            self.nonce += 1

            # Affiche progression tous les 100000 essais
            if self.nonce % 100000 == 0:
                print(f"Tentative {self.nonce}...")


```

C.1.4 Module C++ ultra-rapide pour minage optimisé

```

// mine_pow.cpp
#include <pybind11/pybind11.h>
#include <openssl/sha.h>
#include <string>
#include <iostream>

```

```

#include <iomanip>

namespace py = pybind11;

std::string sha256(const std::string& input) {
    unsigned char hash[SHA256_DIGEST_LENGTH];
    SHA256((unsigned char*)input.c_str(), input.length(), hash)
        ;

    std::stringstream ss;
    for(int i = 0; i < SHA256_DIGEST_LENGTH; i++) {
        ss << std::hex << std::setw(2) << std::setfill('0')
            << (int)hash[i];
    }
    return ss.str();
}

py::tuple mine_pow_cpp(const std::string& block_data,
                      int difficulty,
                      long long max_nonce) {
    std::string target(difficulty, '0');

    for(long long nonce = 0; nonce < max_nonce; nonce++) {
        std::string data = block_data + std::to_string(nonce);
        std::string hash = sha256(data);

        if(hash.substr(0, difficulty) == target) {
            return py::make_tuple(nonce, hash);
        }
    }

    return py::make_tuple(-1, "");
}

PYBIND11_MODULE(mine_module, m) {
    m.def("mine_pow", &mine_pow_cpp, "Mine\u2022PoW\u2022optimise\u2022en\u2022C++"
          );
}

```

Compilation :

```
python setup.py build_ext --inplace
```

C.1.5 Système de minage automatique avec génération IA de transactions

```

import threading
from queue import Queue
import time

def auto_miner(blockchain, ai_queue, stop_event):
    """Thread de minage automatique"""
    while not stop_event.is_set():

```

```

        if not ai_queue.empty():
            transactions = []
            # Recuperer jusqu'a 5 transactions
            for _ in range(min(5, ai_queue.qsize())):
                tx = ai_queue.get()
                transactions.append(tx)

            if transactions:
                print(f"Mine{len(transactions)} transactions...")
                new_block = blockchain.add_block(transactions)
                new_block.mine_block()

                # Diffuser aux pairs
                broadcast_block(new_block, peers)

                # Sauvegarder
                blockchain.save_data()

            time.sleep(2)

def prefill_ai_queue(ai_queue, blockchain, stop_event):
    """Thread de generation de transactions IA"""
    from ai.generator import generate_ai_transactions

    while not stop_event.is_set():
        if ai_queue.qsize() < 10:
            txs = generate_ai_transactions(blockchain, count=5)
            for tx in txs:
                ai_queue.put(tx)
        time.sleep(5)

# Demarrage des threads
stop_event = threading.Event()
ai_queue = Queue()

miner_thread = threading.Thread(target=auto_miner,
                                 args=(bc, ai_queue, stop_event))
ai_thread = threading.Thread(target=prefill_ai_queue,
                             args=(ai_queue, bc, stop_event))

miner_thread.start()
ai_thread.start()

```

C.1.6 Implémentation des smart contracts pour gestion automatique des frais

```

class SmartContract:
    def __init__(self, name, logic):
        self.name = name
        self.logic = logic

```

```

def execute(self, blockchain, block):
    """Execute la logique du contrat"""
    try:
        return self.logic(blockchain, block)
    except Exception as e:
        print(f"Erreur dans le contrat {self.name}: {e}")
        return False

def mining_fee_contract(blockchain, block):
    """Contrat de recompense de minage"""
    base_reward = 5.0 # Euros
    fee_per_tx = 0.5 # Euros par transaction

    # Calculer la recompense totale
    total_fees = len(block.transactions) * fee_per_tx
    total_reward = base_reward + total_fees

    # Crediter le mineur
    miner_address = block.miner
    if miner_address not in blockchain.wallets:
        blockchain.wallets[miner_address] = 0.0
    blockchain.wallets[miner_address] += total_reward

    print(f"Mineur {miner_address} recompense: {total_reward} EUR")
    return True

# Enregistrer le contrat
contracts = {
    'mining_fee': SmartContract('mining_fee',
                                 mining_fee_contract)
}

```

C.1.7 Système complet avec sauvegarde JSON et consensus distribué

```

import json
import requests

class Blockchain:
    def save_data(self, filename='blockchain_data.json'):
        """Sauvegarde la blockchain en JSON"""
        data = {
            'chain': [block.to_dict() for block in self.chain],
            'wallets': self.wallets
        }
        with open(filename, 'w') as f:
            json.dump(data, f, indent=2)

    def load_data(self, filename='blockchain_data.json'):
        """Charge la blockchain depuis JSON"""
        try:
            with open(filename, 'r') as f:

```

```

        data = json.load(f)
        self.chain = [Block.from_dict(b) for b in data['chain']]
        self.wallets = data['wallets']
    except FileNotFoundError:
        print("Fichier non trouve, creation d'une nouvelle blockchain")

def resolve_conflicts(self, peers):
    """Algorithme de consensus : chaine la plus longue"""
    longest_chain = None
    max_length = len(self.chain)

    for peer in peers:
        try:
            response = requests.get(f'http://{peer}/chain',
                                    timeout=5)
            if response.status_code == 200:
                data = response.json()
                length = data['length']
                chain = data['chain']

                if length > max_length and self.is_valid_chain(chain):
                    max_length = length
                    longest_chain = chain
        except:
            continue

    if longest_chain:
        self.chain = [Block.from_dict(b) for b in
                     longest_chain]
        return True
    return False

```

C.1.8 Création d'une page Flask pour afficher les blocs de la blockchain

```

from flask import Flask, render_template, jsonify

app = Flask(__name__)

@app.route('/')
def home():
    """Dashboard principal"""
    stats = {
        'total_blocks': len(bc.chain),
        'total_wallets': len(bc.wallets),
        'total_transactions': sum(len(b.transactions) for b in
                                  bc.chain)
    }
    return render_template('home.html', stats=stats)

```

```

@app.route('/blocks')
def blocks_list():
    """Liste de tous les blocs"""
    blocks = []
    for block in bc.chain:
        blocks.append({
            'index': block.index,
            'hash': block.hash,
            'previous_hash': block.previous_hash,
            'timestamp': block.timestamp,
            'transactions': len(block.transactions),
            'miner': getattr(block, 'miner', 'Genesis')
        })
    return render_template('blocks_list.html', blocks=blocks)

@app.route('/block/<int:index>')
def block_detail(index):
    """Détail d'un bloc spécifique"""
    if index >= len(bc.chain):
        return render_template('error.html', message='Bloc non trouvé'), 404

    block = bc.chain[index]
    return render_template('block_detail.html', block=block)

@app.route('/chain', methods=['GET'])
def full_chain():
    """API JSON de la blockchain complète"""
    return jsonify({
        'chain': bc.to_json_chain(),
        'length': len(bc.chain)
    }), 200

```

C.2 Intégration de l'IA

C.2.1 Fonction generate_ai_transactions() : génération automatique par l'IA

```

# ai/generator.py
import ollama
import random

def generate_ai_transactions(blockchain, count=5):
    """Génère des transactions réalistes avec Ollama"""
    wallets = list(blockchain.wallets.keys())
    if len(wallets) < 2:
        return []

    # Selectionner aléatoirement des portefeuilles
    selected = random.sample(wallets, min(count * 2, len(
        wallets)))

```

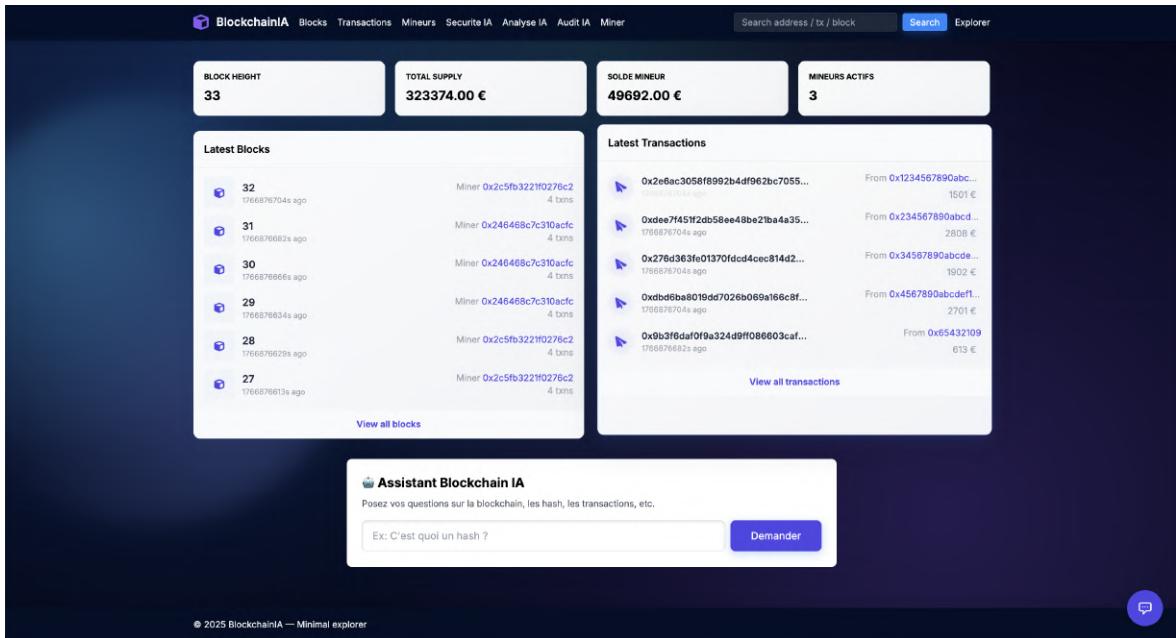


FIGURE 1 – Dashboard principal : statistiques globales de la blockchain

```

prompt = f"""Generate {count} realistic blockchain
transactions.
Format: sender|receiver (one per line)
Available wallets: {', '.join(selected[:10])}
"""

try:
    response = ollama.chat(
        model='llama3.2',
        messages=[{'role': 'user', 'content': prompt}]
    )

    lines = response['message'][ 'content'].strip().split('\n')
    transactions = []

    for line in lines[:count]:
        if '|' in line:
            parts = line.split('|')
            sender = parts[0].strip()
            receiver = parts[1].strip()
            amount = random.uniform(100, 3000)

            if sender in wallets and receiver in wallets:
                from blockchain.transaction import
                    Transaction
                tx = Transaction(sender, receiver, amount)
                transactions.append(tx)

return transactions

```

FIGURE 2 – Page d’exploration : liste des blocs avec détails des transactions

```
=====
[NET] Voulez-vous vous connecter à une blockchain existante ?
=====
(o)ui / (n)on : o

[NET] Connexion à un pair...
Entrez l'adresse du pair (ex: http://172.22.100.50:5002) : http://10.71.174.241:5002
[OK] Pair ajouté : http://10.71.174.241:5002
[SYNC] Synchronisation avec le réseau...
🔍 Tentative de connexion à : http://10.71.174.241:5002...
[OK] Synchronisation réussie ! Nouvelle taille : 11
[OK] Blockchain synchronisée !
=====
```

FIGURE 3 – Synchronisation réseau : connexion à un pair via ZeroTier

```
except Exception as e:
    print(f"Erreur lors de la génération de l'IA : {e}")
    return []
```

C.2.2 Route /analyze-blockchain : dialogue conversationnel avec Ollama

```
# core/routes.py
@app.route('/analyze-blockchain', methods=['POST'])
def analyze_blockchain():
    """Route pour analyser la blockchain avec données complètes
    """
    data = request.get_json()
    question = data.get('question', '').strip()

    if not question:
```

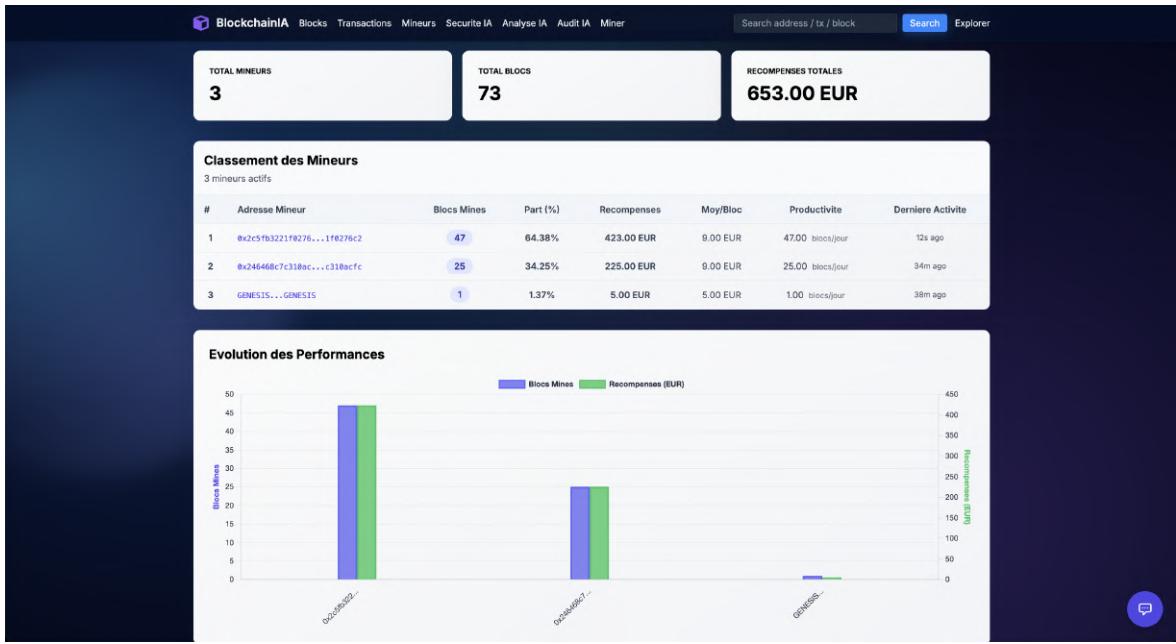


FIGURE 4 – Statistiques des mineurs : classement et apparition d'un nouveau mineur

```

        return jsonify({'error': 'Question_vide'}), 400

# Collecter statistiques
total_blocks = len(bc.chain)
total_wallets = len(bc.wallets)
total_txs = sum(len(block.transactions) for block in bc.
    chain)

# Top utilisateurs actifs
activity_counter = {}
for block in bc.chain:
    for tx in block.transactions:
        sender = getattr(tx, 'sender', None)
        receiver = getattr(tx, 'receiver', None)
        if sender:
            activity_counter[sender] = activity_counter.get(
                sender, 0) + 1
        if receiver:
            activity_counter[receiver] = activity_counter.get(
                receiver, 0) + 1

top_users = sorted(activity_counter.items(),
                    key=lambda x: x[1], reverse=True)[:5]

# Preparer contexte pour Ollama
context = f"""Analyste_blockchain_expert.
Donnees:{total_blocks}blocs,{total_wallets}portefeuilles,{total_txs}TX
Question:{question}"""

```

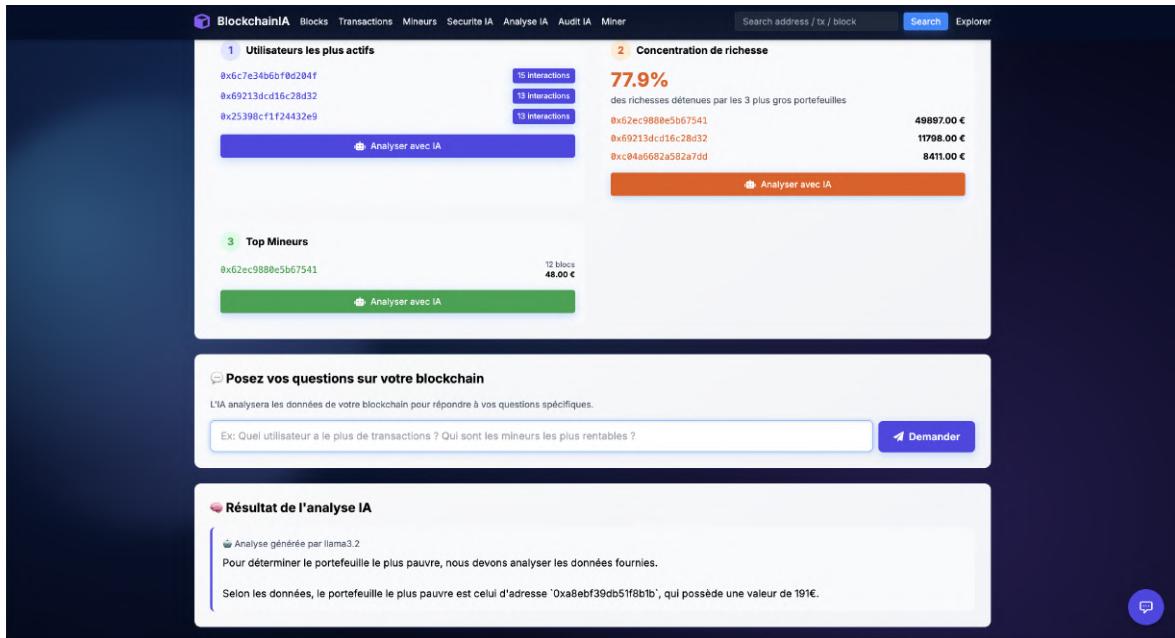


FIGURE 5 – Analyse IA avec Ollama : question posée et réponse générée

```
# Appel Ollama
import requests
response = requests.post('http://localhost:11434/api/
    generate',
    json={'model': 'llama3.2', 'prompt': context, 'stream':
        False},
    timeout=120)

if response.status_code == 200:
    result = response.json()
    return jsonify({'answer': result.get('response', 'Pas de reponse')})

return jsonify({'error': 'Ollama non disponible'}), 503
```

C.2.3 Préparation du contexte blockchain pour l'IA

```
def prepare_blockchain_context(blockchain):
    """Prepare un résumé de la blockchain pour l'IA"""

    # Statistiques globales
    total_blocks = len(blockchain.chain)
    total_wallets = len(blockchain.wallets)
    total_txs = sum(len(b.transactions) for b in blockchain.
        chain)
    total_wealth = sum(blockchain.wallets.values())

    # Top portefeuilles
    sorted_wallets = sorted(blockchain.wallets.items(),
        key=lambda x: x[1], reverse=True)
```

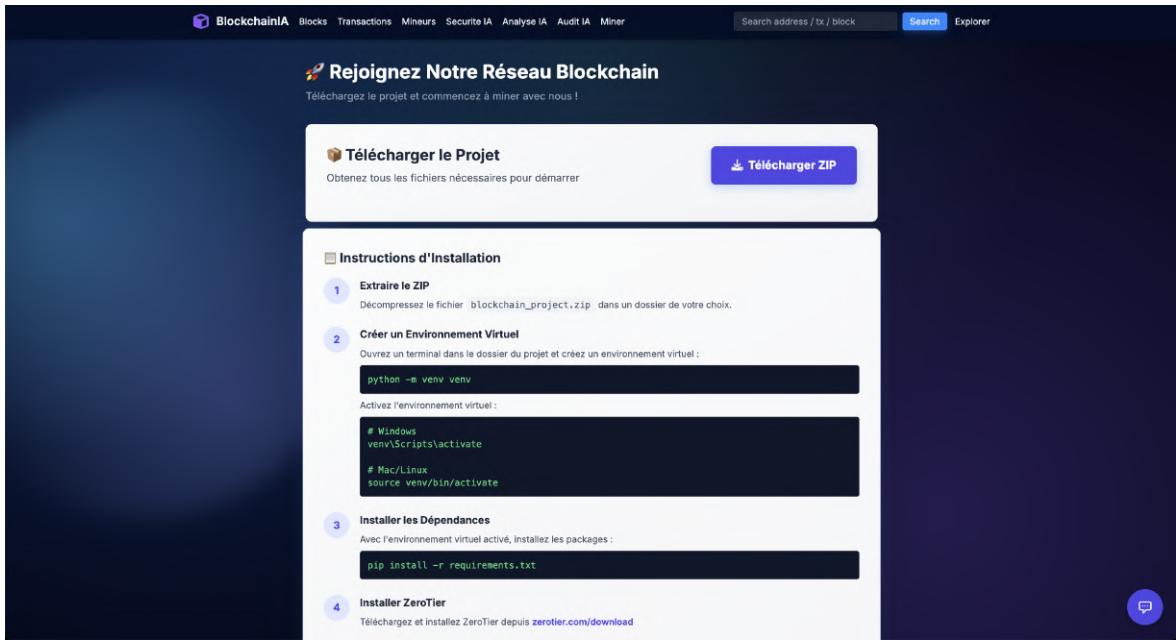


FIGURE 6 – Page de téléchargement du projet

```

richest = sorted_wallets[:5]
poorest = sorted_wallets[-5:] if len(sorted_wallets) > 5
else sorted_wallets

# Statistiques mineurs
miner_stats = {}
for block in blockchain.chain[1:]:
    miner = getattr(block, 'miner', None)
    if miner:
        if miner not in miner_stats:
            miner_stats[miner] = {'blocks': 0, 'rewards': 0}
        miner_stats[miner]['blocks'] += 1
        miner_stats[miner]['rewards'] += len(block.transactions) * 0.5

top_miners = sorted(miner_stats.items(),
                     key=lambda x: x[1]['blocks'], reverse=True)[:5]

# Formater le contexte
context = f"""BLOCKCHAIN_STATS:
-Blocs:{total_blocks}
-Portefeuilles:{total_wallets}
-Transactions:{total_txs}
-Richesse totale:{total_wealth:.2f} EUR

TOP 5 RICHES:"""

for i, (wallet, balance) in enumerate(richest, 1):

```

```

[AUTO-MINER] [MINE] Tentative de minage d'un nouveau bloc (4 tx)...
[CLEAN] Nettoyage termine. 4 TX confirmees retirees des pools.
[AUTO-MINER] [OK] Bloc 18 miné et diffusé !
[WARN] Aucun pair enregistré. Utilisez l'option 6.

[AUTO-MINER] [MINE] Tentative de minage d'un nouveau bloc (4 tx)...
[CLEAN] Nettoyage termine. 4 TX confirmees retirees des pools.
[AUTO-MINER] [OK] Bloc 19 miné et diffusé !
[WARN] Aucun pair enregistré. Utilisez l'option 6.

[AUTO-MINER] [MINE] Tentative de minage d'un nouveau bloc (4 tx)...
[CLEAN] Nettoyage termine. 4 TX confirmees retirees des pools.
[AUTO-MINER] [OK] Bloc 20 miné et diffusé !
[WARN] Aucun pair enregistré. Utilisez l'option 6.

```

FIGURE 7 – Auto-mineur activé : processus de minage automatique en action

```

    context += f"{i}.wallet:{balance:.2f}EUR\n"

return context

```

C.2.4 Détection automatique de failles et vulnérabilités

```

# core/routes.py
@app.route('/security')
def view_security():
    """Page de sécurité avec détection d'anomalies"""
    anomalies = []

    # 1. Concentration de richesse
    total_wealth = sum(bc.wallets.values())
    sorted_wallets = sorted(bc.wallets.items(),
                           key=lambda x: x[1], reverse=True)

    for wallet, balance in sorted_wallets:
        percentage = (balance / total_wealth * 100) if
            total_wealth > 0 else 0
        if percentage > 30:
            anomalies.append({
                'type': 'wealth_concentration',
                'severity': 'high',
                'message': f'{wallet} détient {percentage:.1f}% de la richesse',
                'wallet': wallet
            })

    # 2. Dominance de mineurs
    total_blocks = len(bc.chain) - 1
    miner_stats = {}
    for block in bc.chain[1:]:
        miner = getattr(block, 'miner', None)

```

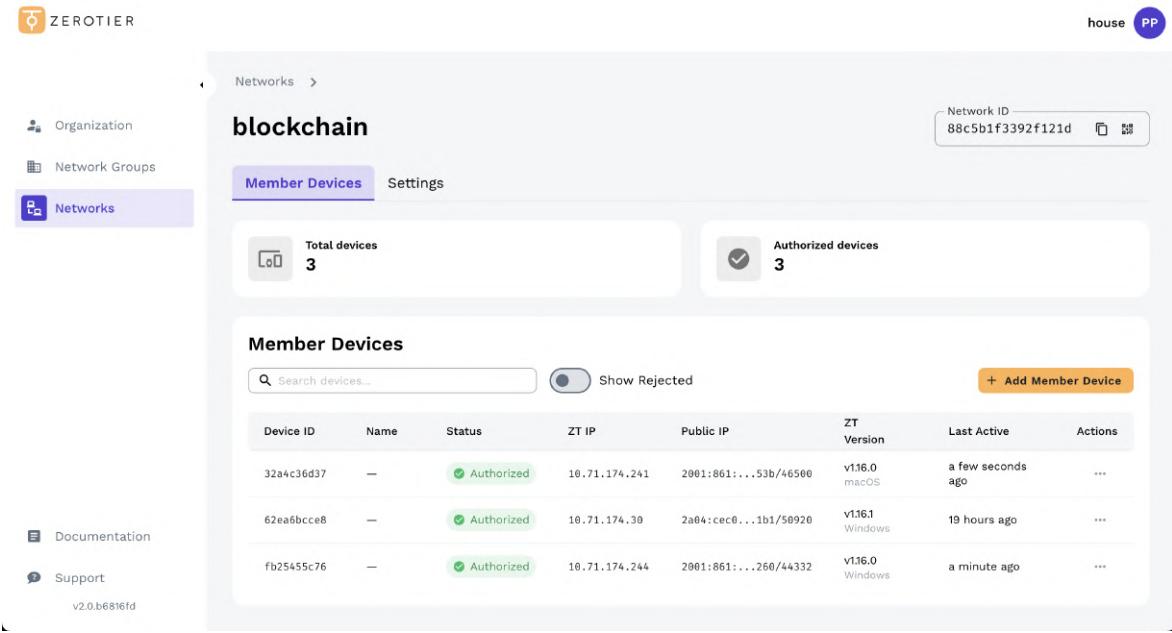


FIGURE 8 – Test ZeroTier : configuration du réseau VPN pour blockchain distribuée

```

if miner:
    miner_stats[miner] = miner_stats.get(miner, 0) + 1

for miner, count in miner_stats.items():
    percentage = (count / total_blocks * 100) if
        total_blocks > 0 else 0
    if percentage > 40:
        anomalies.append({
            'type': 'miner_dominance',
            'severity': 'high',
            'message': f'{miner} a mine {percentage:.1f}% des blocs',
            'wallet': miner
        })

# 3. Patterns suspects (montants identiques)
amount_counter = {}
for block in bc.chain:
    for tx in block.transactions:
        amt = getattr(tx, 'amount', 0)
        amount_counter[amt] = amount_counter.get(amt, 0) +
            1

for amount, count in amount_counter.items():
    if count > 5:
        anomalies.append({
            'type': 'suspicious_pattern',
            'severity': 'medium',
            'message': f'Montant {amount:.2f} EUR répété {count} fois'
        })

```

```

        })

    return render_template('security.html', anomalies=anomalies
)

```

C.2.5 Analyse de concentration des richesses

```

def check_wealth_distribution(blockchain, threshold=30):
    """Verifie si la richesse est trop concentrée"""
    total_wealth = sum(blockchain.wallets.values())

    if total_wealth == 0:
        return {'status': 'ok', 'message': 'Pas de richesse'}

    sorted_wallets = sorted(blockchain.wallets.items(),
                           key=lambda x: x[1], reverse=True)

    # Analyser top 3
    top_3_wealth = sum(w[1] for w in sorted_wallets[:3])
    concentration = (top_3_wealth / total_wealth * 100)

    if concentration > threshold:
        return {
            'status': 'warning',
            'severity': 'high' if concentration > 50 else 'medium',
            'concentration': concentration,
            'message': f'Top 3 portefeuilles détiennent {concentration:.1f}%',
            'top_wallets': sorted_wallets[:3]
        }

    return {
        'status': 'ok',
        'concentration': concentration,
        'message': f'Distribution équilibrée ({concentration:.1f}%)'
    }

# Exemple d'utilisation
result = check_wealth_distribution(bc, threshold=30)
if result['status'] == 'warning':
    print(f"ALERTE: {result['message']}")
    print("Top portefeuilles:")
    for wallet, balance in result['top_wallets']:
        print(f"{wallet}: {balance:.2f} EUR")

```

C.2.6 Détection de monopoles de mineurs (risque attaque 51%)

```

def analyze_miner_dominance(blockchain, threshold=40):

```

```

"""Detecte si un mineur domine le reseau (risque d'attaque >
51%)"""
total_blocks = len(blockchain.chain) - 1 # Exclude genesis

if total_blocks == 0:
    return {'status': 'ok', 'message': 'Pas de blocs mines'}

# Compter blocs par mineur
miner_stats = {}
for block in blockchain.chain[1:]:
    miner = getattr(block, 'miner', None)
    if miner:
        if miner not in miner_stats:
            miner_stats[miner] = {'blocks': 0, 'percentage': 0}
        miner_stats[miner]['blocks'] += 1

# Calculer pourcentages
for miner, stats in miner_stats.items():
    stats['percentage'] = (stats['blocks'] / total_blocks * 100)

# Chercher dominance
dominant_miners = []
for miner, stats in miner_stats.items():
    if stats['percentage'] > threshold:
        dominant_miners.append({
            'miner': miner,
            'blocks': stats['blocks'],
            'percentage': stats['percentage'],
            'severity': 'critical' if stats['percentage'] > 51 else 'high'
        })

if dominant_miners:
    return {
        'status': 'warning',
        'dominant_miners': dominant_miners,
        'message': f'{len(dominant_miners)} mineur(s) dominent(s) detecte(s)'
    }

return {'status': 'ok', 'message': 'Mineage bien distribue'}

# Utilisation
result = analyze_miner_dominance(bc, threshold=40)
if result['status'] == 'warning':
    for miner_info in result['dominant_miners']:
        print(f"ALERTE {miner_info['severity'].upper()}: "
              f"{miner_info['miner']} controles {miner_info['percentage']:.1f}%")

```

C.2.7 Identification de comportements suspects (wash trading)

```

def find_suspicious_patterns(blockchain):
    """Detecte les patterns suspects (montants repetitifs, haute fréquence)"""
    anomalies = []

    # 1. Montants identiques répétés (possible wash trading)
    amount_counter = {}
    amount_details = {}

    for block in blockchain.chain:
        for tx in block.transactions:
            amt = round(getattr(tx, 'amount', 0), 2)
            sender = getattr(tx, 'sender', None)
            receiver = getattr(tx, 'receiver', None)

            if amt not in amount_counter:
                amount_counter[amt] = 0
                amount_details[amt] = []

            amount_counter[amt] += 1
            amount_details[amt].append((sender, receiver))

    for amount, count in amount_counter.items():
        if count > 5: # Même montant plus de 5 fois
            anomalies.append({
                'type': 'repeated_amount',
                'severity': 'medium',
                'amount': amount,
                'count': count,
                'message': f'Montant {amount:.2f} EUR répété {count} fois',
                'details': amount_details[amount][:3] # Top 3 exemples
            })

    # 2. Transactions circulaires (A->B, B->A)
    circular = []
    for block in blockchain.chain:
        for tx in block.transactions:
            sender = getattr(tx, 'sender', None)
            receiver = getattr(tx, 'receiver', None)

            # Chercher transaction inverse
            for block2 in blockchain.chain:
                for tx2 in block2.transactions:
                    if (getattr(tx2, 'sender', None) == receiver and
                        getattr(tx2, 'receiver', None) == sender):
                        circular.append((sender, receiver))

```

```

if circular:
    anomalies.append({
        'type': 'circular_transactions',
        'severity': 'high',
        'count': len(circular),
        'message': f'{len(circular)} transaction(s) circulaire(s) detectee(s)'
    })

return anomalies

```

C.2.8 Détection de transferts circulaires (A→B→A)

```

def detect_repeated_transfers(blockchain, window=10):
    """Detecte les transferts répétés entre mêmes adresses"""

    # Construire historique des paires
    transfer_pairs = {}

    for block in blockchain.chain:
        for tx in block.transactions:
            sender = getattr(tx, 'sender', None)
            receiver = getattr(tx, 'receiver', None)
            amount = getattr(tx, 'amount', 0)
            timestamp = getattr(tx, 'timestamp', 0)

            if sender and receiver:
                pair = tuple(sorted([sender, receiver]))

                if pair not in transfer_pairs:
                    transfer_pairs[pair] = []

                transfer_pairs[pair].append({
                    'sender': sender,
                    'receiver': receiver,
                    'amount': amount,
                    'timestamp': timestamp
                })

    # Analyser patterns
    suspicious = []
    for pair, transfers in transfer_pairs.items():
        if len(transfers) >= window:
            # Vérifier si alterne (A→B, B→A, A→B...)
            alternating = True
            for i in range(1, len(transfers)):
                if transfers[i]['sender'] == transfers[i-1]['sender']:
                    alternating = False
                    break
            if alternating:
                suspicious.append(pair)

```

```

        if alternating:
            total_amount = sum(t['amount'] for t in
                                transfers)
            suspicious.append({
                'pair': pair,
                'count': len(transfers),
                'total_amount': total_amount,
                'severity': 'high',
                'message': f'{len(transfers)} transferts\u00e9s alternants entre \u201c{pair[0][:10]}... et {pair[1][:10]}\u201d'
            })
    return suspicious

```

C.2.9 Évaluation du niveau de gravité des anomalies

```

def assess_severity(anomaly_type, metrics):
    """Evalue le niveau de gravité d'une anomalie détectée"""

    severity_rules = {
        'wealth_concentration': {
            'critical': lambda m: m['percentage'] > 70,
            'high': lambda m: m['percentage'] > 50,
            'medium': lambda m: m['percentage'] > 30,
            'low': lambda m: True
        },
        'miner_dominance': {
            'critical': lambda m: m['percentage'] > 51, # Attaque 51%
            'high': lambda m: m['percentage'] > 40,
            'medium': lambda m: m['percentage'] > 25,
            'low': lambda m: True
        },
        'suspicious_pattern': {
            'high': lambda m: m['count'] > 20,
            'medium': lambda m: m['count'] > 10,
            'low': lambda m: True
        },
        'circular_transactions': {
            'critical': lambda m: m['total_amount'] > 100000,
            'high': lambda m: m['count'] > 10,
            'medium': lambda m: m['count'] > 5,
            'low': lambda m: True
        }
    }

    if anomaly_type not in severity_rules:
        return 'unknown'

```

```

rules = severity_rules[anomaly_type]

for severity in ['critical', 'high', 'medium', 'low']:
    if severity in rules and rules[severity](metrics):
        return severity

return 'low'

# Exemple d'utilisation
anomalies = find_suspicious_patterns(bc)
for anomaly in anomalies:
    severity = assess_severity(anomaly['type'], anomaly)
    print(f"[{severity.upper()}]{anomaly['message']}")
```

C.2.10 Communication HTTP avec l'API Ollama

```

import requests
import json

def query_ollama_api(prompt, model='llama3.2', temperature=0.7,
                     max_tokens=800):
    """Envoie une requête à l'API Ollama et retourne la réponse"""
    url = 'http://localhost:11434/api/generate'

    payload = {
        'model': model,
        'prompt': prompt,
        'stream': False,
        'options': {
            'temperature': temperature,
            'num_predict': max_tokens
        }
    }

    try:
        response = requests.post(
            url,
            json=payload,
            headers={'Content-Type': 'application/json'},
            timeout=120
        )

        if response.status_code == 200:
            data = response.json()
            return {
                'success': True,
                'response': data.get('response', ''),
                'model': data.get('model', model),
                'done': data.get('done', False)
            }
    
```

```

        else:
            return {
                'success': False,
                'error': f'HTTP {response.status_code}',
                'message': 'Ollama API non disponible',
            }

    except requests.exceptions.Timeout:
        return {'success': False, 'error': 'timeout',
                'message': 'Delai depasse (120s)'}

    except requests.exceptions.ConnectionError:
        return {'success': False, 'error': 'connection',
                'message': 'Impossible de contacter Ollama. '
                           'Verifier que Ollama est demarre.'}

    except Exception as e:
        return {'success': False, 'error': 'unknown', 'message':
               str(e)}

```

C.3 Exemple d'exécution du projet

```

○ (venv) prianosmac@Air-de-Prian blockchainia % python3 main.py
/Users/prianosmac/Documents/blockchainia/venv/lib/python3.9/site-packages/urllib3/_init__.py:35: NotOpenSSLWarning: urllib3 v2 only supports OpenSSL 1.1.1+, currently the 'ssl' module is compiled with 'Libressl 2.8.3'. See: https://github.com/urllib3/urllib3/issues/3020
warnings.warn()

[OK] Chargement de la blockchain...
[OK] DB initialisée et synchronisée.

[C++] Module de minage C++ activé - Performance optimale !

=====
[NET] Voulez-vous vous connecter à une blockchain existante ?
=====

(o)ui / (n)on : n
[OK] Démarrage en mode autonome.

=====
[MINE] Activer le mineur automatique ?
=====

(o)ui / (n)on : n
[OK] Auto-miner désactivé. Utilisez le menu pour miner manuellement.

[OK] Démarrage des threads...
[OK] Thread AI démarre...
[OK] Thread sauvegarde auto démarre...
[AUTO-MINER] Mineur automatique démarre...
[OK] Thread auto-miner démarre...

===== MENU BLOCKCHAIN =====
[OK] Thread menu interactif démarre...

=====
1. Miner manuellement (Interactif)
2. Afficher la blockchain
[OK] Serveur Flask démarre sur http://127.0.0.1:5002
3. Afficher les transactions échouées
4. Consulter l'historique & solde d'un portefeuille
5. Enregistrer un Pair (Nœud)
6. Synchroniser la Chaîne (Consensus)
0. Quitter
[OK] Node ID: node_5002

Votre choix : [OK] Portefeuille mineur: 0x5bcba780bb6859cf
=====

* Serving Flask app 'main'
* Debug mode: off
WARNING: This is a development server. Do not use it in a production deployment. Use a production WSGI server instead.
* Running on all addresses (0.0.0.0)
* Running on http://127.0.0.1:5002
* Running on http://192.168.1.75:5002
Press CTRL+C to quit
[NET] Regu 4 transactions. Ajoutées à la pool.
127.0.0.1 - - [28/Dec/2025 00:51:40] "POST /transactions/new HTTP/1.1" 201 -
1
Combien de blocs miner ? 10
Choisis la difficulté du PoW (ex: 0, 1, 2) : 0
[MINE] Lancement du minage de 10 bloc(s) avec difficulté 0...
[CLEAN] Nettoyage terminé. 4 TX confirmées retirées des pools.

```

FIGURE 9 – Menu interactif au démarrage de l’application

```

Combien de blocs miner ? 10
Choisis la difficulté du PoW (ex: 0, 1, 2) : 0
[MINE] Lancement du minage de 10 bloc(s) avec difficulté 0...
[CLEAN] Nettoyage termine. 4 TX confirmees retirees des pools.
[OK] Bloc 1 mine en 0.0002s
[CLEAN] Nettoyage termine. 4 TX confirmees retirees des pools.
[OK] Bloc 2 mine en 0.0001s
[CLEAN] Nettoyage termine. 4 TX confirmees retirees des pools.
[OK] Bloc 3 mine en 0.0001s
[CLEAN] Nettoyage termine. 4 TX confirmees retirees des pools.
[OK] Bloc 4 mine en 0.0002s
[CLEAN] Nettoyage termine. 4 TX confirmees retirees des pools.
[OK] Bloc 5 mine en 0.0001s
[CLEAN] Nettoyage termine. 4 TX confirmees retirees des pools.
[OK] Bloc 6 mine en 0.0001s
[CLEAN] Nettoyage termine. 4 TX confirmees retirees des pools.
[OK] Bloc 7 mine en 0.0001s
[CLEAN] Nettoyage termine. 4 TX confirmees retirees des pools.
[OK] Bloc 8 mine en 0.0001s
[CLEAN] Nettoyage termine. 4 TX confirmees retirees des pools.
[OK] Bloc 9 mine en 0.0002s
[CLEAN] Nettoyage termine. 4 TX confirmees retirees des pools.
[OK] Bloc 10 mine en 0.0001s

==== RÉSUMÉ DU MINAGE MANUEL ====
Bloc 1 | TX: 4 | Hash: ab91c6b92d04... | Temps: 0.0002s
Bloc 2 | TX: 4 | Hash: f4f629ae285d... | Temps: 0.0001s
Bloc 3 | TX: 4 | Hash: 05f81f163a9e... | Temps: 0.0001s
Bloc 4 | TX: 4 | Hash: 404853cd53bf... | Temps: 0.0002s
Bloc 5 | TX: 4 | Hash: 2d7e244a0502... | Temps: 0.0001s
Bloc 6 | TX: 4 | Hash: 78409bb0e373... | Temps: 0.0001s
Bloc 7 | TX: 4 | Hash: 3455cd9913b1... | Temps: 0.0001s
Bloc 8 | TX: 4 | Hash: 636713633d07... | Temps: 0.0001s
Bloc 9 | TX: 4 | Hash: 741a16f32194... | Temps: 0.0002s
Bloc 10 | TX: 4 | Hash: de09919fde72.... | Temps: 0.0001s

[SYNC] Résolution des conflits réseau...
[WARN] Aucun pair enregistré. Utilisez l'option 6.

```

FIGURE 10 – Minage d'un bloc avec PoW 1 avec calcul du nonce et hash (nonce faible : 0 pour le bloc 10)

```

Combien de blocs miner ? 10
Choisis la difficulté du PoW (ex: 0, 1, 2) : 4
[MINE] Lancement du minage de 10 bloc(s) avec difficulté 4...
[CLEAN] Nettoyage termine. 4 TX confirmees retirees des pools.
[OK] Bloc 1 miné en 0.2394s
[CLEAN] Nettoyage termine. 4 TX confirmees retirees des pools.
[OK] Bloc 2 miné en 0.3484s
[CLEAN] Nettoyage termine. 4 TX confirmees retirees des pools.
[OK] Bloc 3 miné en 0.2899s
[CLEAN] Nettoyage termine. 4 TX confirmees retirees des pools.
[OK] Bloc 4 miné en 0.2571s
[CLEAN] Nettoyage termine. 4 TX confirmees retirees des pools.
[OK] Bloc 5 miné en 0.6303s
[CLEAN] Nettoyage termine. 4 TX confirmees retirees des pools.
[OK] Bloc 6 miné en 1.1345s
[CLEAN] Nettoyage termine. 4 TX confirmees retirees des pools.
[OK] Bloc 7 miné en 1.0032s
[CLEAN] Nettoyage termine. 4 TX confirmees retirees des pools.
[OK] Bloc 8 miné en 2.7636s
[CLEAN] Nettoyage termine. 4 TX confirmees retirees des pools.
[OK] Bloc 9 miné en 0.4044s
[CLEAN] Nettoyage termine. 4 TX confirmees retirees des pools.
[OK] Bloc 10 miné en 2.6310s

```

==== RÉSUMÉ DU MINAGE MANUEL ===

Bloc 1	TX: 4	Hash: 00008aac06d1...	Temps: 0.2394s
Bloc 2	TX: 4	Hash: 000001491f1b...	Temps: 0.3484s
Bloc 3	TX: 4	Hash: 0000415106d9...	Temps: 0.2899s
Bloc 4	TX: 4	Hash: 0000472068c8...	Temps: 0.2571s
Bloc 5	TX: 4	Hash: 00005bd8691c...	Temps: 0.6303s
Bloc 6	TX: 4	Hash: 0000fc97e773...	Temps: 1.1345s
Bloc 7	TX: 4	Hash: 0000082ba2bd...	Temps: 1.0032s
Bloc 8	TX: 4	Hash: 00005117b1aa...	Temps: 2.7636s
Bloc 9	TX: 4	Hash: 0000eaad5947...	Temps: 0.4044s
Bloc 10	TX: 4	Hash: 0000e56d29bc...	Temps: 2.6310s

FIGURE 11 – Minage d'un bloc avec PoW 4 avec calcul du nonce et hash : plus lent car plus sécurisé (nonce élevé : 244652 pour le bloc 10)

```

2
=====
[CHAIN] ÉTAT DE LA BLOCKCHAIN =====

[ BLOC #0
Hash: 8c6d1d49e1f5a5e3c8801d9f0f9b1e941a5f4d1a04d3e8e19b486241b2e535a0
Précédent: 0
Nonce: 0
Mineur: GENESIS
Horodatage: 2025-12-28 00:51:05
Transactions (0):
(Aucune transaction)

[ BLOC #1
Hash: ab91c6b92d04d736951aad1f2a4ebe25800116d27a5a82aad0322bcb432ff687
Précédent: 8c6d1d49e1f5a5e3c8801d9f0f9b1e941a5f4d1a04d3e8e19b486241b2e535a0
Nonce: 0
Mineur: 0x5bcba780bb6859cf
Horodatage: 2025-12-28 00:51:52
Transactions (4):
1. [00:50:41] ID: 0x3e8e833bb00e9a...
Expéditeur : 0x1234567890
Destinataire: 0x9876543210
Montant : 1500.00 €
2. [00:51:08] ID: 0xd5c3b5c48fd8e3...
Expéditeur : 0x2345678901
Destinataire: 0x8765432102
Montant : 2500.00 €
3. [00:51:14] ID: 0x86b650e60241b9...
Expéditeur : 0x3456789012
Destinataire: 0x4567890123
Montant : 2800.00 €
4. [00:51:04] ID: 0x5b2bf8476dcbff...
Expéditeur : 0x4567890123
Destinataire: 0x1234567890
Montant : 2000.00 €

[ BLOC #2
Hash: f4f629ae285d3829e55c70bf65b9fa2cf5aa5c975e8654a12ce1091ebb618fb3
Précédent: ab91c6b92d04d736951aad1f2a4ebe25800116d27a5a82aad0322bcb432ff687
Nonce: 0
Mineur: 0x5bcba780bb6859cf
Horodatage: 2025-12-28 00:51:53
Transactions (4):
1. [00:51:08] ID: 0x92427bf33455eb...
Expéditeur : 0x5bcba780bb6859cf
Destinataire: 0x8765432102
Montant : 374.00 €
2. [00:51:24] ID: 0x9f665ceb0e531...
Expéditeur : 0x8765432102
Destinataire: 0x5bcba780bb6859cf

```

FIGURE 12 – Visualisation complète de la chaîne de blocs avec transactions

```

4
Entrez l'ID du portefeuille (ex: 0x...): 0x3456789012
=====
SOLDE : 5417.00 € | WALLET : 0x3456789012
=====

--- HISTORIQUE DES TRANSACTIONS ---
0x86b650e60241b90f6d098378e2b3771271cae0aa57e5838cb1381b27f365ae2 : 0x3456789012 -> 0x4567890123 | 2800.00 € | 28/12/2025 00:51:14
0x4b3be9a07f16e4bad10a084d5d9331ea0316520887fb53ce3c4bc928b02c4288 : 0x3456789012 -> 0x2345678901 | 234.00 € | 28/12/2025 00:51:15
0x98bbf356a0d39d4425e61ed52e0c28ad8df299c7b9a86a9e1e36fa342f678d : 0x8765432102 -> 0x3456789012 | 1064.00 € | 28/12/2025 00:51:01
0xcced2c4375aff568579ad52bf6c2155467de7f6acbc3b96abbed0855b9c2b7d : 0x4567890123 -> 0x3456789012 | 1006.00 € | 28/12/2025 00:50:58
0x8b2349c97bd31291fc608d191632f949a522e5af89c817e45d34926ab2b1f65d : 0x9876543210 -> 0x3456789012 | 1149.00 € | 28/12/2025 00:51:45
0xfb8e59ded314ad9550350d689840d32ac689a95ff1d2fe5ad753c97bbacb902 : 0x3456789012 -> 0x2345678901 | 1099.00 € | 28/12/2025 00:51:33
0x7241ec2199781da801d5e918e8f27ca1aa34aae7ea2902fdec4cafdf6267e1c : 0x2345678901 -> 0x3456789012 | 568.00 € | 28/12/2025 00:51:05
0xb852a3cdeec2ecba57c349eca09087ec0405aa85879caa7fbd313ae07892fa : 0x4567890123 -> 0x3456789012 | 1195.00 € | 28/12/2025 00:51:50
0xe81f84f0ca05e50dd246e5fa51be84b2c13d9ed3dc365b469599d73ab1fd95 : 0x2345678901 -> 0x3456789012 | 580.00 € | 28/12/2025 00:51:42
0x6d79bd863a54e66632c0c05f38eeecd60e38c22eb62bae8e4d86228629d2c2d27 : 0x3456789012 -> 0x5bcba780bb6859cf | 1008.00 € | 28/12/2025 00:52:01

--- FRAIS ET RÉCOMPENSES ---
[00:51:14] Frais : -1.00 € (PAYÉ)
[00:51:15] Frais : -1.00 € (PAYÉ)
[00:51:33] Frais : -1.00 € (PAYÉ)
[00:52:01] Frais : -1.00 € (PAYÉ)

--- TRANSACTIONS ÉCHOUÉES (POOL) ---
(aucune transaction échouée)

```

FIGURE 13 – Affichage du solde et de l'historique complet d'un portefeuille

```

5
Entrez l'adresse du pair (ex: http://192.168.1.10:5003) : http://192.168.1.75:5002
[OK] Pair ajouté : http://192.168.1.75:5002

===== MENU BLOCKCHAIN =====
1. Miner manuellement (Interactif)
2. Afficher la blockchain
3. Afficher les transactions échouées
4. Consulter l'historique & solde d'un portefeuille
5. Enregistrer un Pair (Nœud)
6. Synchroniser la Chaîne (Consensus)
0. Quitter

Votre choix : 6

[SYNC] Démarrage de la synchronisation forcée...
🌐 Tentative de connexion à : http://192.168.1.75:5002...
🌐 Tentative de connexion à : http://10.71.174.241:5002...
[OK] Synchronisation réussie ! Nouvelle taille : 5

```

FIGURE 14 – Ajout d'un pair et synchronisation de ce dernier

The screenshot shows the BlockchainIA web application's dashboard. At the top, there are four summary boxes: Block Height (11), Total Supply (506722.00 €), Solde Mineur (51159.00 €), and Mineurs Actifs (2). Below these are two main sections: "Latest Blocks" and "Latest Transactions". The "Latest Blocks" section lists blocks 10 through 5, each with a timestamp and miner information. The "Latest Transactions" section lists five transactions with their hash, timestamp, and source/destination details. At the bottom, there is a "View all blocks" and "View all transactions" link. A live chat window titled "Assistant Blockchain IA" is open, asking "Posez vos questions sur la blockchain, les hash, les transactions, etc." with a placeholder "Ex: C'est quoi un hash ?" and a "Demander" button. The footer includes a copyright notice "© 2025 BlockchainIA — Minimal explorer".

FIGURE 15 – Interface web : Dashboard avec statistiques globales

Blocks
Liste complète des blocs

BLOCK	AGE	TXNS	MINER	HASH	REWARD	ACTION
10	6m	4	0x5bcba700bb6859cf	de09919fde7221bc...	9.00 €	View
9	6m	4	0x5bcba700bb6859cf	741a16f3210411fc...	9.00 €	View
8	6m	4	0x5bcba700bb6859cf	636713633d07c25f...	9.00 €	View
7	6m	4	0x5bcba700bb6859cf	3455cd9913b17068...	9.00 €	View
6	6m	4	0x5bcba700bb6859cf	78409bb0e373e90b...	9.00 €	View
5	6m	4	0x5bcba700bb6859cf	2d7e244a05023225...	9.00 €	View
4	6m	4	0x5bcba700bb6859cf	404853cd53bf7685...	9.00 €	View
3	6m	4	0x5bcba700bb6859cf	85f81f163a9eb5f1...	9.00 €	View
2	6m	4	0x5bcba700bb6859cf	f4f629ae285d3829...	9.00 €	View
1	6m	4	0x5bcba700bb6859cf	ab91c6b92d04d736...	9.00 €	View
0	7m	0	GENESIS	8c6d1d49e1f5a5e3...	5.00 €	View

Affichage : 20 / page — Total : 11

First | Prev | **1** | Next | Last | + Retour à l'accueil

© 2025 BlockchainIA — Minimal explorer

FIGURE 16 – Page d'exploration des blocs avec hash, timestamp et transactions

BlockchainIA Blocks Transactions Mineurs Sécurité IA Analyse IA Audit IA Miner

Search address / tx / block

Hash: de09919fde7221bcac92865253186c58dec0ba96b17ef161fb4de1a25b8da7e5
Previous hash: 741a16f3210411fc079bcc2d288138e38e9413a52ca37a1bbcba3fd4195f549
Timestamp: 2025-12-28 00:52:01

Mineur: 0x5bcba700bb6859cf
Transactions: 4
Confirmations: 0

Transactions dans le bloc:

- 0x86c92164834aa9ba9869b4b44f8a70b59d2d98e1a720c30457c5288f50629118 → 0x876543218 → 0x4567890123
- 0xe81f84f0ca05e50dd246e4c6fa51be84b2c13d9ed3dc365b469599d73ab1fd95 → 0x3456789812 → 0x3456789812
- 0x1bd9729d796a3bbd28261e2ba8468a18d8cfbb3e47773820e298802f78105 → 0x9876543218 → 0x1234567898
- 0x6d79bd863a54e6632c8c05f38eeecd60e38c22eb62bae8e4d86228629dc2cd227 → 0x3456789812 → 0x5bcba700bb6859cf

Données brutes:

```
{
  "hash": "de09919fde7221bcac92865253186c58dec0ba96b17ef161fb4de1a25b8da7e5",
  "index": 10,
  "miner": "0x5bcba700bb6859cf",
  "previous_hash": "741a16f3210411fc079bcc2d288138e38e9413a52ca37a1bbcba3fd4195f549",
  "reward": 9,
  "nonce": "0",
  "timestamp": 1766879521.312842,
  "transactions": [
    {
      "amount": 554,
      "id": "0x86c92164834aa9ba9869b4b44f8a70b59d2d98e1a720c30457c5288f50629118",
      "receiver": "0x876543218",
      "sender": "0x4567890123",
      "signature": "92268d6cf59e8b8d85ff8c1e22a992467439880d862a52a13c72d7101da52552e",
      "status": "success",
      "timestamp": 1766879485.115508
    }
  ]
}
```

FIGURE 17 – Page de détails d'un bloc avec hash, nonce et liste des transactions

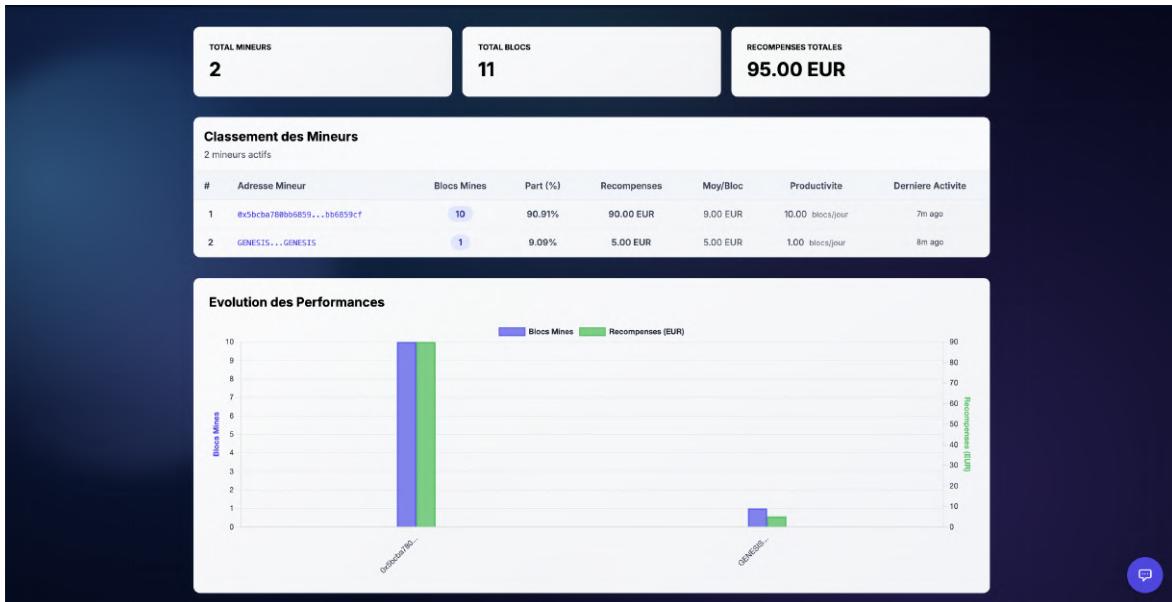


FIGURE 18 – Classement des mineurs avec blocs minés et récompenses gagnées

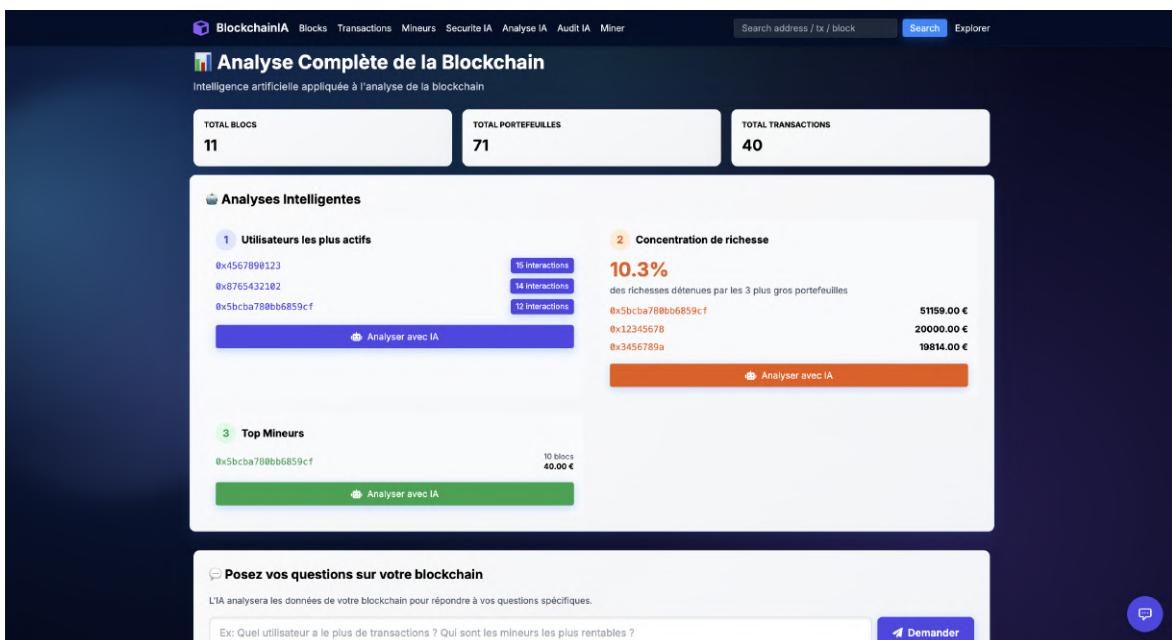


FIGURE 19 – Assistant IA Ollama analysant la blockchain et détectant des anomalies

The screenshot shows the BlockchainIA platform's wallet audit feature. At the top, there is a search bar and a purple button labeled "Rechercher un Portefeuille". Below it, a text input field asks for a wallet address, with an example provided: "Ex: 0x1234567890abcdef...". A large blue button below the input field says "Analyser et Générer le Rapport PDF".

Below this main search area, there are three cards:

- Rapport Complet**: Historique détaillé des transactions, soldes, plus-values et moins-values.
- Analysé IA**: Récit narratif généré par intelligence artificielle sur l'activité du portefeuille.
- Déclaration Fiscale**: Document structuré utilisable comme support pour votre déclaration d'impôts.

Further down, a section titled "Contenu du Rapport PDF" lists several items:

- Informations du Portefeuille**: Adresse complète, Type de compte (Utilisateur/Mineur), Solde actuel, Statut d'activité.
- Résumé Financier**: Capital initial, Total reçu et envoyé, Frais de transaction, Plus-value / Moins-value.
- Activité Blockchain**: Nombre de transactions, Blocs minés, Frais de minage perçus, Taux d'activité.
- Timeline & Analyse IA**: 10 dernières transactions, Récit narratif IA, Insights et tendances, Mentions légales.

FIGURE 20 – Audit complet d'un portefeuille

The screenshot shows the BlockchainIA platform's security detection feature. At the top, there is a search bar and a purple button labeled "Search".

The main title is "Securite IA - Detection de Fraude" with the subtitle "Analyse Intelligente en temps réel avec Ollama".

Key metrics displayed are:

- TRANSACTIONS ANALYSEES: 40
- PATTERNS SUSPECTS: 7
- SCORE DE CONFIANCE: 65%

Below these metrics, a section titled "Alertes de Securite" lists five suspicious patterns detected by AI:

- HAUTE HIGH_VALUE**: Volume élevé: 5895.00 EUR. Transaction ID: 0xb765432102...
- HAUTE HIGH_VALUE**: Volume élevé: 5641.00 EUR. Transaction ID: 0x2345678981...
- HAUTE HIGH_VALUE**: Volume élevé: 4246.00 EUR. Transaction ID: 0x9876543218...
- HAUTE HIGH_VALUE**: Volume élevé: 5141.00 EUR. Transaction ID: 0x3456789812...
- HAUTE HIGH_VALUE**: Volume élevé: 6952.00 EUR. Transaction ID: 0x1234567890abcdef...

Each pattern entry includes a blue "Analyser avec IA" button.

FIGURE 21 – Page de sécurité où l'on peut analyser avec l'ia pourquoi une transaction est dangereuse

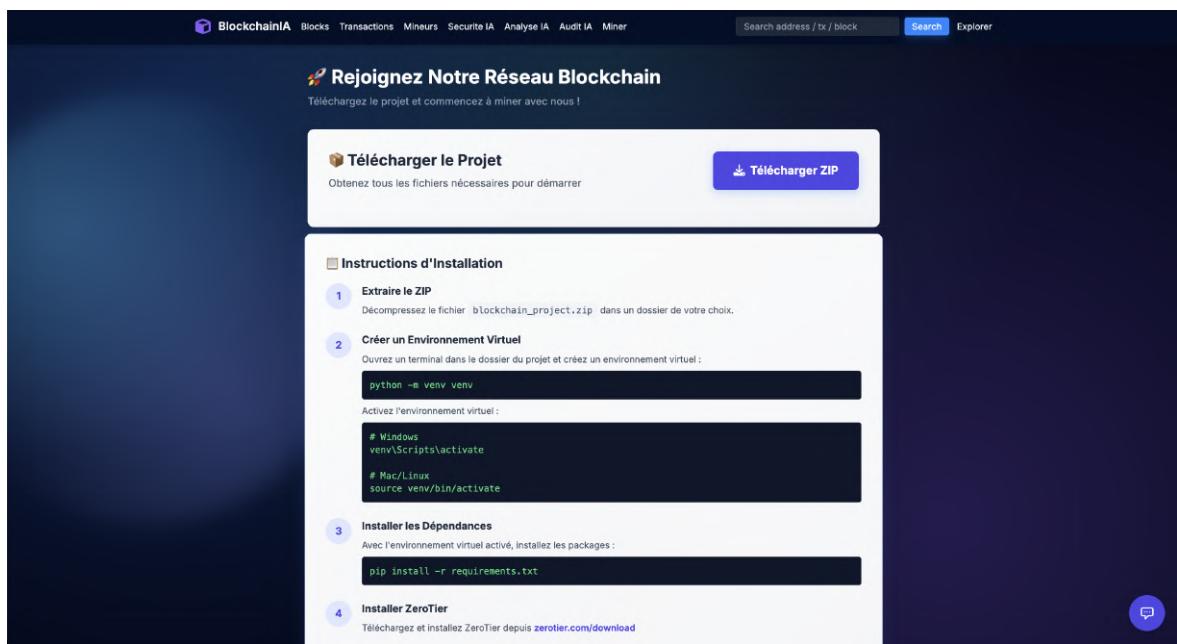


FIGURE 22 – Page de téléchargement du projet : instructions d’installation et réseau

blocks								
index	hash	previous_hash		timestamp	miner	tx_count	nonce	reward
10	de09919fde7221bcac92865253186c58dec0ba96b17fe161fb4de1a25b8da7e5	741a1f65219411fc079bcced288138e38e9413a52ca37a1bbcbaf3fd4195f549		1766879521.312842	0xbcb780bb6859cf	4	0	9.0
9	741a16f3219411fc079bcced288138e38e9413a52ca37a1bbcbaf3d4195f549	636713633d07c25f2d1664793ec009723fe8b18193777830d641fb8e2de5ef		1766879520.285291	0xbcb780bb6859cf	4	0	9.0
8	636713633d07c25f2d1664793ec009723fe8b18193777830d641fb8e2de5ef	345cc9d91b170685df7d0b3a9855fa3d4dd9f34a98d32eacf0dcfa090916ca		1766879519.2503428	0xbcb780bb6859cf	4	0	9.0
7	345cc9d91b170685df7d0b3a9855fa3d4dd9f34a98d32eacf0dcfa090916ca	78409bb0e373e90b965e3aa87897e648a78c1b01b48d2d8cce6e9edbd879		1766879518.2199512	0xbcb780bb6859cf	4	0	9.0
6	78409bb0e373e90b965e3aa87897e648a78c1b01b48d2d8cce6e9edbd879	2dfe244a050232251382f6ac3f39283660344bf8e9178662bcceab976fa2972		1766879517.189125	0xbcb780bb6859cf	4	0	9.0
5	2dfe244a050232251382f6ac3f39283660344bf8e9178662bcceab976fa2972	404853cd53b7f6856e3192c8173477dd19b751730b4e650c67838		1766879516.167615	0xbcb780bb6859cf	4	0	9.0
4	404853cd53b7f6856e3192c8173477dd19b751730b4e650c67838	0581163a9eb5f116cbeeae922d410c9a956b70efc26a854dc45c2dd4aeda		1766879515.1349518	0xbcb780bb6859cf	4	0	9.0
3	0581163a9eb5f116cbeeae922d410c9a956b70efc26a854dc45c2dd4aeda	f4f629ae285d3829e55c70bf65b9fa2cf5aa5c975e8654a12ce109ebb618fb3		1766879514.107111	0xbcb780bb6859cf	4	0	9.0
2	f4f629ae285d3829e55c70bf65b9fa2cf5aa5c975e8654a12ce109ebb618fb3	ab91c6b92d04d736951aaaf12a4be8e25800116d275a82aa0d322cb432ff687		1766879513.088172	0xbcb780bb6859cf	4	0	9.0
1	ab91c6b92d04d736951aaaf12a4be8e25800116d275a82aa0d322cb432ff687	8c6dd1d49e1f5a5e3c8801d9f0f9b1e941a5d1a04d3e8e19b486241b2e535a0		1766879512.0442681	0xbcb780bb6859cf	4	0	9.0
0	8c6dd1d49e1f5a5e3c8801d9f0f9b1e941a5d1a04d3e8e19b486241b2e535a0	0		1766879465.664952	GENESIS	0	0	5.0

transactions						
id	sender	receiver	amount	status	timestamp	block_index
0x6d79bd863a54e6632c0c05f38eedcd60e38c22eb62bae8e4d86228629dc2cd227	3456789012	0xbcb780bb6859cf	1008.0	success	1766879521.1096857	10
0x608fc903ec8262bb351da9e013caf5625af461df92d3c49d0e64136602e7312	8765432102	2345678901	1494.0	success	1766879513.6769873	9
0x8ce86303b4279f9d5aa38194a51fc83ad37ec2e989dac0d0a2930b4ee50c67838	4567890123	8765432102	887.0	success	1766879512.5820913	9
0xb8b52aa3cdeece2caba57c349eca0908e0405aa85879aca7fbda13ae07892fa	4567890123	3456789012	1195.0	success	1766879510.8790717	8
0xc14d63ee8e7721a172175398d4877ebe2b2f26cebb59397ab47f3ddba4b97c8	8765432102	4567890123	300.0	success	1766879507.1404817	8
0xb2349e97b7bd31291c608d1916329495a522e5a89c17e45d34026ab2b1f65d	9876543210	3456789012	1149.0	success	1766879505.4007673	5
0x922fedade6336a821740e3b07b607e4ef4ffbd0ca6f7719146a77a8174fiae	4567890123	0xbcb780bb6859cf	851.0	success	1766879504.5744598	8
0x4f6163c83ce62a12981b9108516b98c3fc973dd2f2eb5992d63f7b1305	9876543210	12345678901	614.0	success	1766879504.2019708	5
0x81f84f0ca05e50dd246e4c6fa51b8e4b2c13d9ed3cd365b469599d73ab1d95	2345678901	3456789012	580.0	success	1766879502.4494917	10
0x1bad39f2d9706a306d28281e2b9a4698a10d8cfbb3e47778280e299802778105	9876543210	12345678901	869.0	success	1766879501.3156416	10
0x46ebb9c7f0001b64a92bd608c846873b358a641581d14060fc3d2860bd1c002	0xbcb780bb6859cf	4567890123	844.0	success	1766879498.4915433	7
0x2ad3e52c13aca6006c91eb528aaef2d47091b94021399ad49d788943ad9bcd	0xbcb780bb6859cf	9876543210	299.0	success	1766879498.785272	6
0x00042a77fca71be1d18188a65f0e60cb923ac385c087de6f1e3b5fda9022d5b	0xbcb780bb6859cf	2345678901	239.0	success	1766879496.2026262	4
0x6677e6b5fcaef99b7865d99f7a77d5e4031164677125bfe11c8a47c13cd23472959e6a0	4567890123	9876543210	204.0	success	1766879493.6987324	9
0xb8b59ded314ad5503050b8e89840d32a-369a95ff1f2e5d753c97bba902	3456789012	2345678901	1099.0	success	1766879493.2143066	7
0x6c1e999c9993a8ade4520b56840500f6db790fa283319ebeccc9a15d64d	1234567890	4567890123	210.0	success	1766879491.4028096	6
0x5999342041358805136e79e0d010816e95d276bc8a6fa2bbea828625dd6dc9e	2345678901	0xbcb780bb6859cf	1148.0	success	1766879489.9987135	3
0x071d9b97a77d65e69ff6dc4031164677125bfe11c8a47c13cd23472959e6a0	0xbcb780bb6859cf	8765432102	1143.0	success	1766879488.3334382	4
0x86c9216483aa9ba889b4b44fa7b7822b7059d2a986e1720c3045c2880f50629118	8765432102	4567890123	109.0	success	1766879485.1155608	10
0x4f460707319d1a2983a468158aa5f6098d03c6e1549a27776cd660c66c33	2345678901	4567890123	198.0	success	1766879484.8838763	6
0x9f665cebf0e5319d906412aaa035616c5773070d8546551e6a1005cd64e875d	8765432102	0xbcb780bb6859cf	437.0	success	1766879484.079694	2
0x50111a374a522665737247448abda9e8d0264e94ed10fc9e6b6	1234567890	8765432102	573.0	success	1766879483.7719731	7
0x4fe788e50c67a47caa4ec4954983b7822b7090472e65c0713c20ffcc3671aca8	1234567890	4567890123	1348.0	success	1766879480.7947938	3
0x177c1ff1d4d240726c878426d24febc1471d0d9ae774dd31a0f042ab6e71cd	4567890123	2345678901	809.0	success	1766879475.7828343	9
0x51db73bd2824cd7fc65a559781af64089b2dd1054bc28bef9ae5bed3d3bb9	9876543210	0xbcb780bb6859cf	177.0	success	1766879475.698466	3
0x4b3be9a07f16e4bad10a084d5d9331ea4316520887b53c34b928b024288	3456789012	2345678901	234.0	success	1766879475.4760349	4
0x86b650e60241b90f6d098387e2b3771275bfe11c8a47c13cd23472959e6a0	3456789012	8765432102	2800.0	success	1766879474.7063804	1
0xbe0f039cee4b955e7612c843b41504f042d23af92b8ef1676e9a866a984e6466	9876543210	8765432102	729.0	success	1766879472.6562028	2
0xd5c3b5c48fde3fd42a4257731b4cf938a4ffec061821900cbfb952ac40ab2	2345678901	8765432102	2500.0	success	1766879470.819177	1
0xb5b708a46e5610d14e1317199d75df0e2a522344290060a9525fb3a82c496e	8765432102	1234567890	1440.0	success	1766879470.655287	5
0x338b4002b44d15c2b0b1fa64b83d47772622b290d878c488e64282796f	0xbcb780bb6859cf	8765432102	305.0	success	1766879470.39332	6
0x92427b33455eb3bcc0e641535d91c46aa7486eb8b628779fc8451e05019393	0xbcb780bb6859cf	8765432102	374.0	success	1766879468.2971036	2
0x7241ee2199781ds01d801d8e18b8f27ca1s34aae7ea2902ide4cafdf267e1	2345678901	3456789012	568.0	success	1766879465.5128242	8

FIGURE 23 – Export CSV de blocs et transactions