




Etude de cas « Bitcoin »

Annexe

Killian PROVIN, Louis MAILLARD, Louise CORVAISIER, Kenzo CAO VAN, Viencent HEKIMIAN, Arnaud CAPITAN

Sommaire de l'annexe

- 
- Fonctionnement et impact environnemental de Bitcoin
 - Calculs personnels
 - Chiffres clés
 - Casual Loop Diagram : une représentation de la dynamique du Bitcoin
 - Boucles de Balancing
 - Boucle de Reinforcing
 - Empreinte carbone d'une transaction Bitcoin
 - Calculs personnels
 - Etude de cas : Restauration rapide
 - Les solutions alternatives
 - Sources

Impact environnemental

L'impact environnemental de la consommation du réseau Bitcoin dépend de trois facteurs principaux :

- La **puissance totale du réseau** (exprimée en TH/s)
- L'**efficacité énergétique** des machines (nombre de watts consommés par TH/s)
- Le **mix énergétique** utilisé pour produire l'électricité (charbon, gaz, renouvelables, etc.)

Estimation personnelle :

Hash rate total : 900 000 TH/s

Exemple Antminer S21+ : 216 TH/s pour 3 564 W
⇒ 16,5 W par TH/s

⇒ Puissance $\simeq 900\,000 \text{ TH/s} \times 16,5 \text{ W/(TH/s)} = \mathbf{15 \text{ GW}}$

⇒ Énergie annuelle $\simeq 14,85 \text{ GW} \times 8\,760 \text{ h} = \mathbf{130 \text{ TWh/an}}$

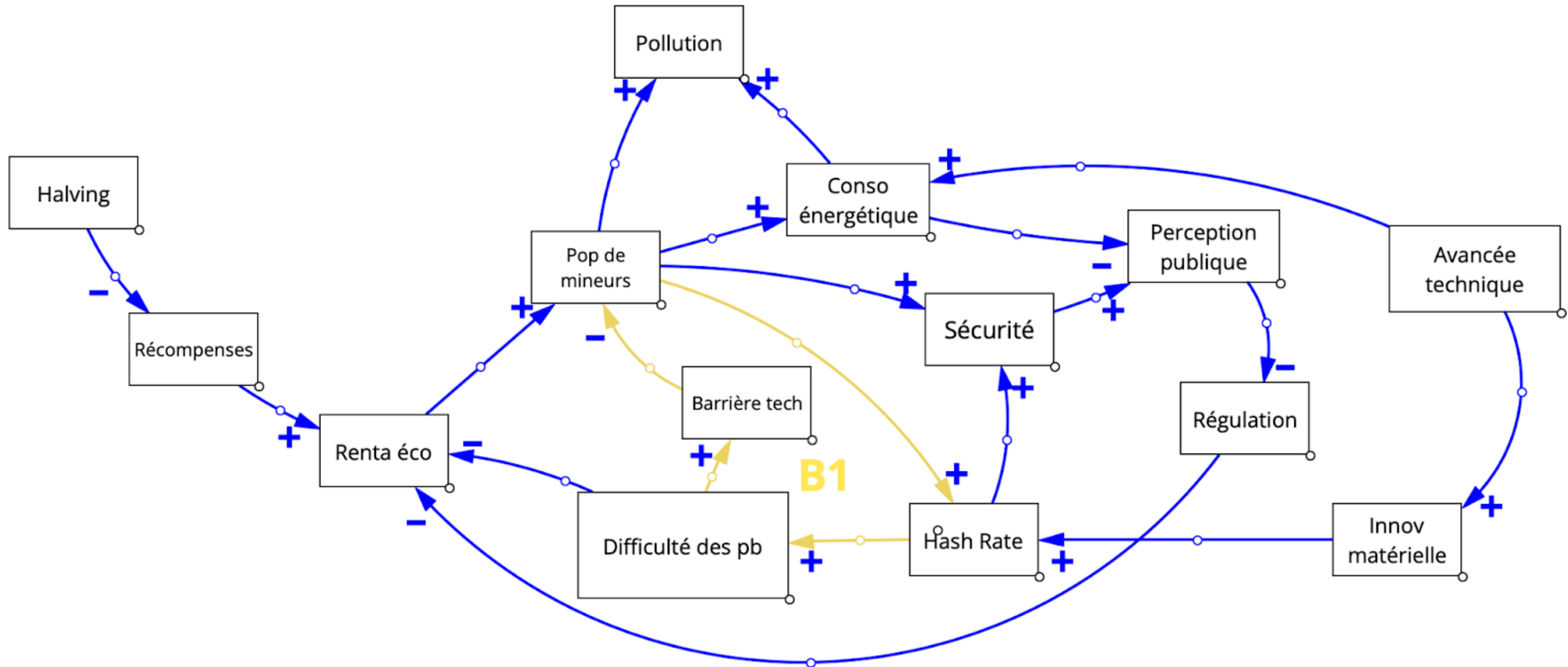
Estimation CBECI

Puissance **20 GW**

Énergie annuelle **180 TWh/an**

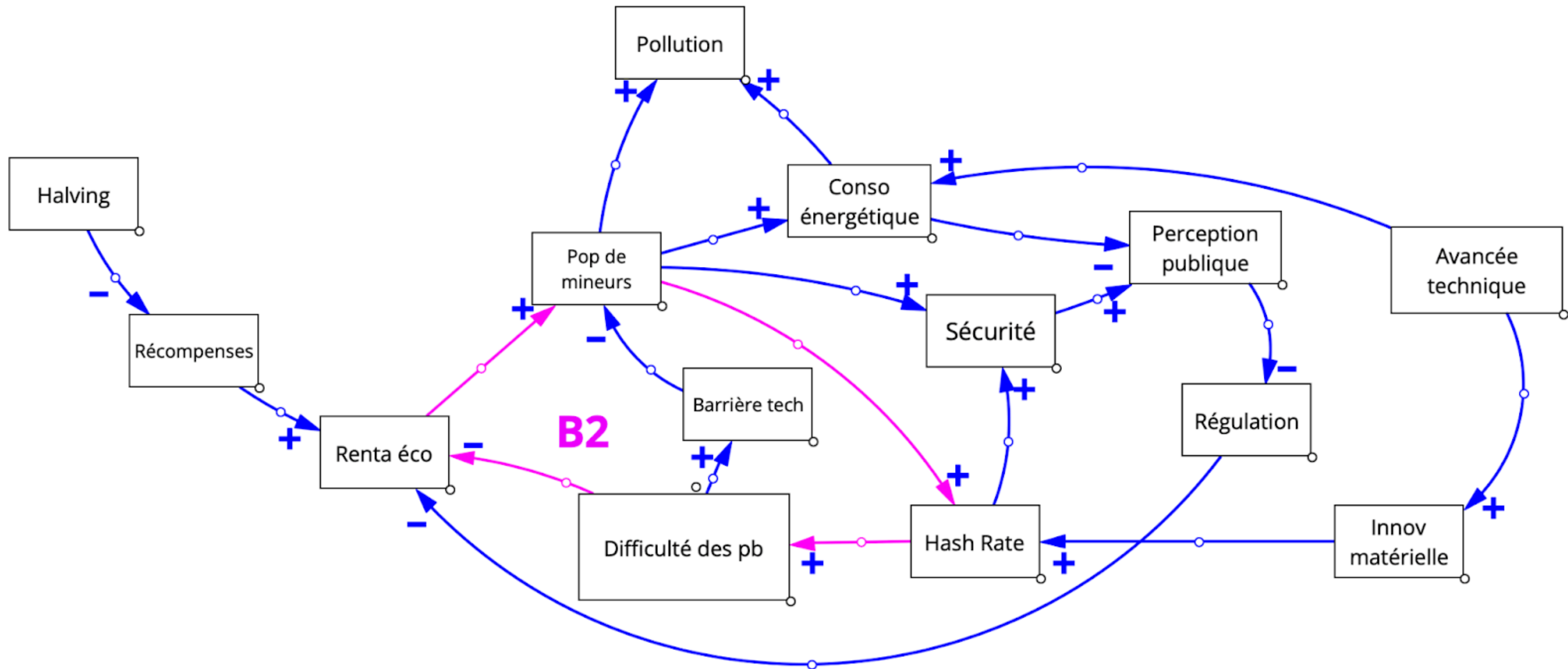
Casual Loop Diagram

Première boucle de balancing



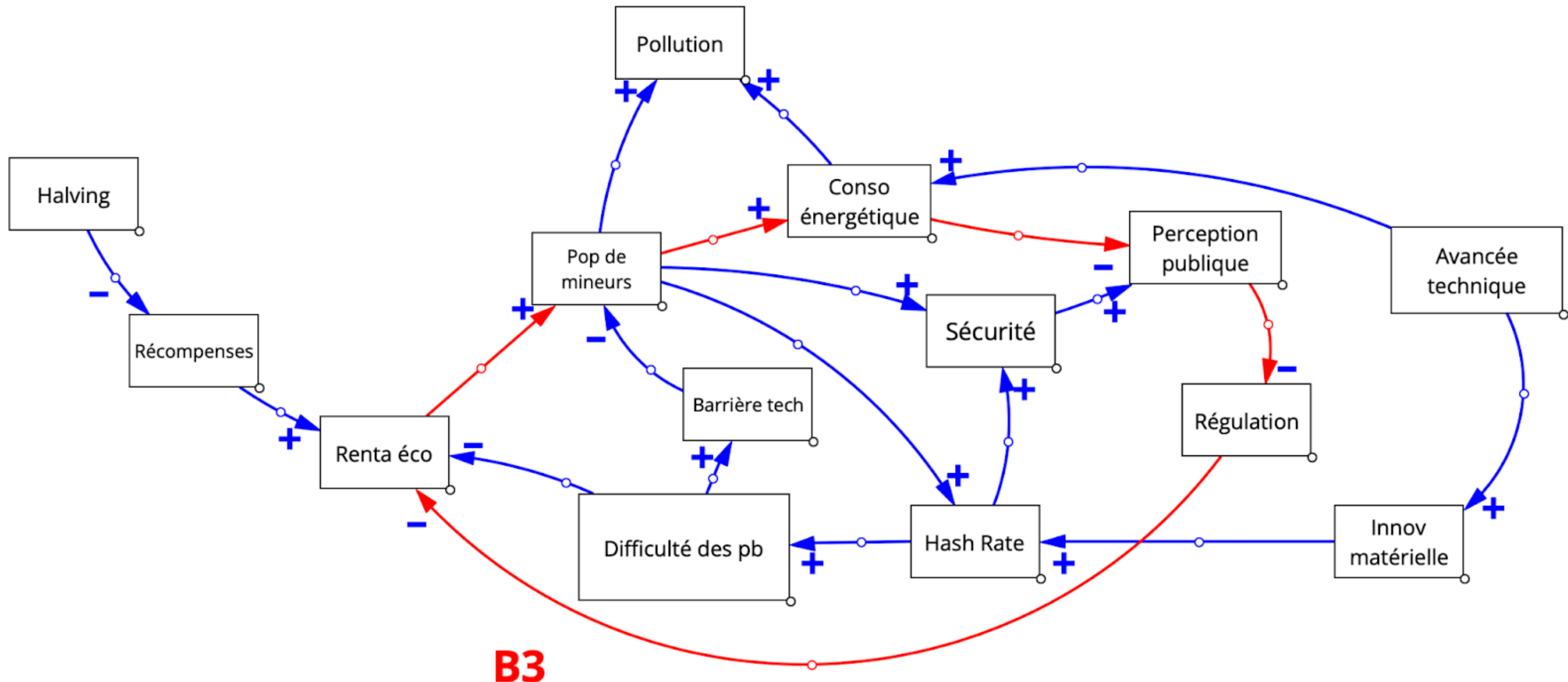
Casual Loop Diagram

Deuxième boucle de balancing



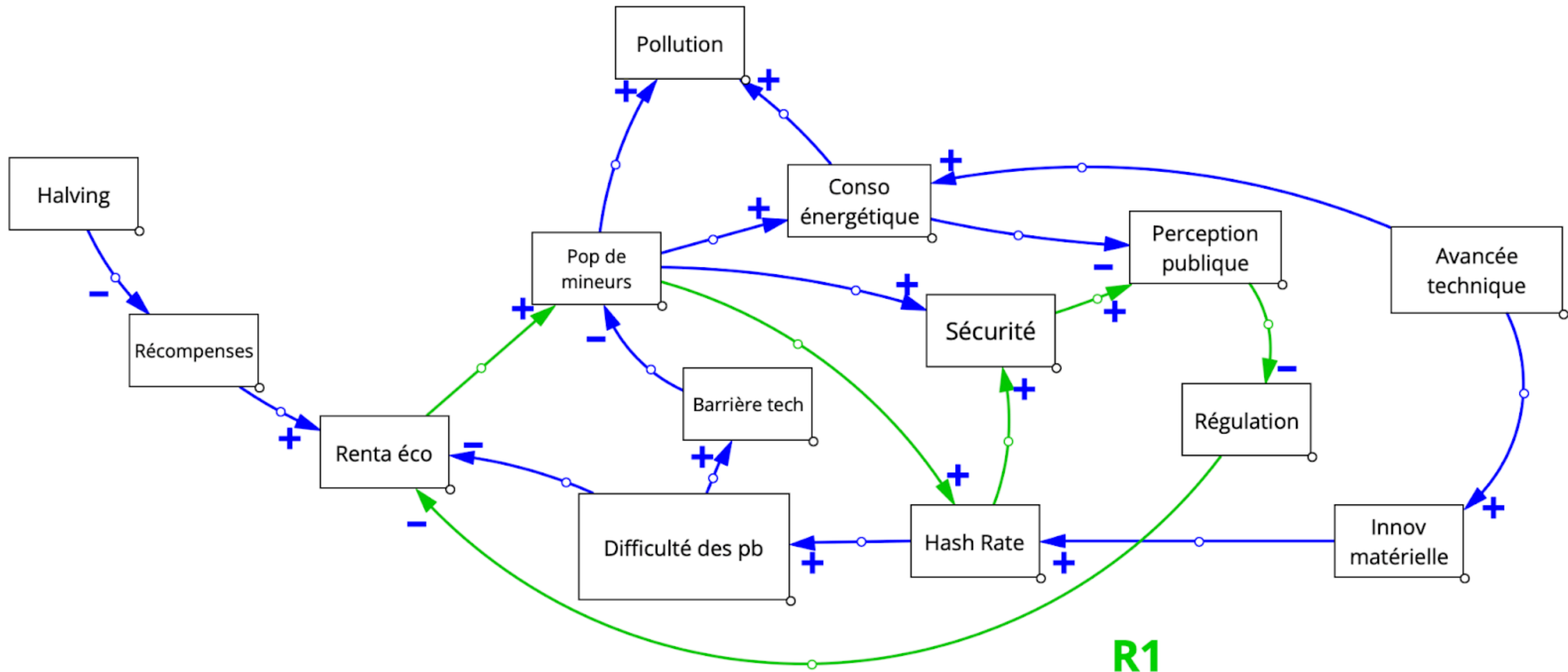
Casual Loop Diagram

Troisième boucle de balancing



Casual Loop Diagram

Boucle de Reinforcing à effets négatifs



Coût environnemental d'une transaction

Calculs personnels

Pays	Hashrate	g CO2 /kWh
Etats-Unis	37,84%	384
Chine	21,11%	560
Kazakhstan	13,22%	802
Canada	6,48%	175
Russie	4,66%	449
Allemagne	3,06%	344
Malaisie	2,51%	604
Irlande	1,97%	280
Thaïlande	0,96%	554
Suède	0,84%	36

Carte graphique	Puissance de hachage	Puissance électrique
NVIDIA RTX 4090	127 MH/s	249 W
NVIDIA RTX 4080	87 MH/s	320 W
NVIDIA RTX A5000	105 MH/s	230 W
NVIDIA RDV 4070 Ti	64 MH/s	285 W
AMD Radeon RX 6900 XT	64 MH/s	300 W
AMD RX 7900 XTX	100 MH/s	355 W

Coût environnemental d'une transaction

Calculs personnels

En réalité, les datacenters utilisent plutôt des machines ASIC :

On calcule leur nombre à partir du nombre d'opération par seconde

Moyenne pour les GPU :
91 MH/s

Nombre de GPU du modèle :
10'000

Puissance totale de calcul :
0.91 TH/s

Exemple de machine ASIC :

Hashrate : 140 TH/s

Puissance : 3010 W

Une seule machine ASIC dépasse la puissance de calcul entière de notre modèle du data center.

Coût environnemental d'une transaction

Calculs personnels

Rappel des données obtenues :
473,43 gCO₂/kWh

Nombre de machines :
10'000

Puissance d'une machine ASIC :
3010 W

Consommation de notre datacenter
chaque seconde :
8,36 kWh

Transaction par seconde :
7 TPS

Coût environnemental d'une transaction :
565 gCO₂

Emission du Scope 2 à l'année :
1,25 x 10⁵ tonnes de CO₂

Chiffre visé d'émissions carbone du Français à
l'année : 2 tonnes de CO₂

Equivalent du nombre d'habitants français des
émissions :
62'500 français

Étude de cas : restauration rapide

Conclusion : Ne pas intégrer le Bitcoin comme moyen de paiement, mais...
Solutions de crypto alternatives ?

Réseau Lightning :

Surcouche de Bitcoin conçue pour les paiements rapides et à très faible coût (frais d'utilisation et énergétique)

Inconvénients :

- Complexe à déployer, peu ou pas utilisé par le public (service niche)
- Basé sur le Bitcoin
 - Coût énergétique important
 - Volatilité du cours, valeur de la cryptomonnaie instable

Blockchains bas carbone :

Utilise la preuve d'enjeu (proof-of-stake), transaction quasi instantanée à coût énergétique réduit (Ex: Algorand, crypto à neutralité carbone)

Inconvénients :

- Peu ou pas utilisé par le public
- Moins fiable que le Bitcoin ou les moyens de paiement courant

Stablecoins :

Utilise des monnaies réelles (fiat), comme l'euro ou le dollar pour éviter la volatilité, réseaux plus légers que Bitcoin, comme Stellar

Inconvénients :

- Peu ou pas utilisé par le public
- Lent (conversion conversion), contrôle juridique peu attractif

Sources

- <https://www.blockchain.com/explorer/charts/hash-rate> (Th/s du réseau)
- <https://shop.bitmain.com/product/detail?pid=00020250610183138927NE5k28e0062C> (exemple mineur)
- <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0921344921005103> (déchets)
- <https://arxiv.org/abs/2401.17512> (déchets)
- <https://digiconomist.net/bitcoin-energy-consumption> (estimation Impact environnemental)
- <https://ccaf.io/cbnsi/cbeci> (estimation Impact environnemental)

- Intensité carbone pour différents pays : [lien](#)
- Répartition du hashrate par pays : [lien](#) / transaction par seconde Bitcoin : [lien](#)
- Puissance moyenne des GPU : [lien](#) / Exemple d'une machine ASIC : [lien](#)
- PUE 1.02 Data center en Géorgie : [lien](#) / PUE 1.04 Data center aux Etats-Unis : [lien](#)

- <https://www.coinbase.com/fr-fr/learn/crypto-basics/what-is-a-stablecoin> (stablecoin)
- <https://stellar.org/learn/what-are-stablecoins> (stablecoin)
- <https://digital-strategy.ec.europa.eu/fr/policies/blockchain-climate-action> (blockchains bas carbone)
- <https://algorand.co/news/carbon-neutral> (blockchain bas carbone à neutralité carbone)
- <https://cryptoast.fr/qu-est-ce-que-lightning-network/> (réseau Lightning)