

La blockchain comme technologie institutionnelle. Une analyse comparée de la traçabilité minière en République Démocratique du Congo et au Rwanda

Blockchain as an Institutional Technology. A Comparative Analysis of Mineral Traceability in the Democratic Republic of Congo and Rwanda

IMBOLE Verdi

Chercheur en Sciences Économiques et de Gestion
Master en Économie et Développement à l'Université Catholique du Congo
République Démocratique du Congo

TANDU SAVA Manassé

Chercheur en Sciences Économiques et de Gestion
Assistant à l'Institut Supérieur de Développement Rural de Mbeo
République Démocratique du Congo

Date de soumission : 09/05/2026

Date d'acceptation : 16/07/2026

Pour citer cet article :

IMBOLE. V. & TANDU SAVA. M. (2026) « La blockchain comme technologie institutionnelle. Une analyse comparée de la traçabilité minière en République Démocratique du Congo et au Rwanda », Revue Française d'Economie et de Gestion « Volume 7 : Numéro 8 » pp : 1018- 1041.

Author(s) agree that this article remain permanently open access under the terms of the Creative Commons Attribution License 4.0 International License



Résumé

La blockchain est régulièrement présentée comme la réponse aux défaillances de la traçabilité minière en Afrique centrale. Cet article interroge l'écart entre cette promesse et les résultats observés. En mobilisant la lecture de la blockchain comme technologie institutionnelle, il montre que le registre distribué garantit l'intégrité des données saisies sans pouvoir certifier leur véracité au point d'entrée. Deux propositions sont mises à l'épreuve d'une étude de cas comparée, conduite sur corpus documentaire, entre le Rwanda, configuration la plus favorable au déploiement, et la République Démocratique du Congo, qui en concentre les conditions défavorables. Le cas rwandais établit que la fraude opère en amont de la première écriture, par conversion documentaire de minerais congolais en minerais rwandais ; le cas congolais montre que les dispositifs ne fonctionnent que là où le contrôle du premier maillon leur préexiste. La discussion, étendue aux chaînes agroalimentaires, pharmaceutiques et logistiques, montre une vulnérabilité générique dont le secteur minier concentre la forme la plus sévère. La blockchain ne résout donc pas le problème de confiance : elle le déplace et, alimentée de données fausses, confère à la fraude l'apparence de la preuve. La fiabilisation du premier maillon relève de la gouvernance, non de la technologie.

Mots-clés : blockchain ; traçabilité minière ; technologie institutionnelle ; gouvernance des ressources ; République Démocratique du Congo ; Rwanda.

Abstract

Blockchain is regularly presented as the answer to the failures of mineral traceability in Central Africa. This article examines the gap between this promise and the observed results. Drawing on the reading of blockchain as an institutional technology, it shows that the distributed ledger guarantees the integrity of recorded data without being able to certify its veracity at the point of entry. Two propositions are tested through a comparative case study, conducted on a documentary corpus, between Rwanda, the most favourable configuration for deployment, and the Democratic Republic of Congo, which concentrates the unfavourable conditions. The Rwandan case establishes that fraud operates upstream of the first record, through the documentary conversion of Congolese minerals into Rwandan minerals; the Congolese case shows that such schemes only work where control of the first link pre-exists them. The discussion, extended to food, pharmaceutical and logistics chains, shows a generic vulnerability whose most severe form the mining sector concentrates. Blockchain therefore does not solve the trust problem: it displaces it and, when fed with false data, lends fraud the appearance of proof. Securing the first link is a matter of governance, not technology.

Keywords: blockchain; mineral traceability; institutional technology; resource governance; Democratic Republic of Congo; Rwanda.

Introduction

Le secteur extractif fournit plus de 90 % des recettes d'exportation de la République Démocratique du Congo, premier producteur mondial de cobalt et acteur majeur de la production de coltan (ITIE-RDC, 2024). La traçabilité de ses minerais demeure pourtant défaillante : certificats falsifiables, minerais extraits de zones sous contrôle armé mêlés aux lots certifiés, contrebande organisée vers les pays voisins impliquant jusqu'aux fonctionnaires des services chargés de la combattre (Niyorugira, 2024). C'est à cette incapacité d'établir l'origine d'un lot que la blockchain prétend répondre : un registre distribué, horodaté et réputé infalsifiable, qui ferait passer la coordination des acteurs d'un système fondé sur la confiance en des tiers à un système fondé sur la preuve (De Filippi, 2024). La promesse a trouvé en Afrique centrale un terrain concret, le Rwanda ayant lancé en 2018, avec la société Circulator et sur la plateforme Hyperledger Fabric, le premier dispositif de traçabilité du tantale de la mine à la raffinerie (Hyperledger Foundation, 2020). Le bilan contredit pourtant la promesse là où les conditions paraissaient les plus favorables : les enquêtes de Global Witness établissent que le système de traçabilité dominant au Rwanda a servi à blanchir des volumes considérables de minerais introduits en contrebande depuis la RDC (Global Witness, 2022a), des étiquettes attestant l'origine des lots étant apposées à Kigali, parfois à la frontière même (Global Witness, 2025, 2026). L'écart entre la promesse et le résultat subsiste ainsi au cœur du modèle donné en exemple.

Cet écart met en cause la manière dont la littérature aborde l'objet. Tant que la blockchain est traitée comme une solution technique à un problème de traçabilité, on tient pour acquis ce qui fait précisément difficulté : le registre garantit qu'une information saisie ne sera ni altérée ni effacée, non que cette information soit vraie ; ni un contrôle biométrique ni un code apposé sur un sac ne renseignent sur ce que le sac contient (NADEL, 2019). La blockchain gagne alors à être analysée non comme un outil, mais comme une technologie institutionnelle (Davidson, De Filippi & Potts, 2018), c'est-à-dire un dispositif de coordination économique dont la portée dépend des institutions de contrôle présentes au point d'entrée des données, institutions qu'il présuppose et ne produit pas.

La question qui structure cet article s'énonce dès lors ainsi : comment expliquer l'écart entre les promesses de la traçabilité par blockchain et ses résultats effectifs dans la gouvernance des chaînes d'approvisionnement minières en Afrique centrale ? Deux interrogations la précisent : en quel point de la chaîne la garantie technologique cesse-t-elle d'opérer, et pourquoi les

conditions qui la rendraient efficace font-elles défaut en République Démocratique du Congo ?

Nous soutenons que la blockchain ne résout pas le problème de confiance mais le déplace vers l'amont de la chaîne, et que les conditions de son efficacité (contrôle physique des sites d'extraction, formalisation du secteur artisanal, intégrité des agents de terrain) sont précisément celles que le contexte congolais ne réunit pas. Loin d'être neutre, un registre immuable alimenté de données fausses aggrave même la situation qu'il prétend corriger, en conférant à la fraude l'apparence de la preuve. Présenter la technologie comme un levier revient alors à traiter en problème technique ce qui demeure un problème de gouvernance.

La démonstration s'organise en cinq temps. Le cadre théorique établit ce que la lecture institutionnelle de la blockchain implique pour la traçabilité des matières physiques ; la démarche méthodologique, qualitative et documentaire, expose la comparaison des cas rwandais et congolais, retenus parce qu'ils font varier la force de l'encadrement étatique autour d'une même chaîne d'approvisionnement régionale, et formule les deux propositions mises à l'épreuve. L'analyse confronte alors le dispositif rwandais à ses propres résultats, puis examine le cas congolais et y établit l'absence des conditions de réussite. La discussion situe ensuite ces résultats parmi les travaux consacrés à d'autres chaînes d'approvisionnement et en tire les implications théoriques ; la conclusion en dégage les apports, les limites et les prolongements.

1. Promesse technologique et dépendance institutionnelle de la traçabilité par blockchain

1.1. Propriétés et promesse de la traçabilité distribuée

La blockchain désigne un registre de transactions répliqué sur les nœuds d'un réseau pair-à-pair, dont l'intégrité repose sur le chaînage cryptographique des blocs : chaque bloc incorpore l'empreinte du précédent, de sorte que la modification d'une écriture ancienne romprait la chaîne et serait détectée par l'ensemble des participants (De Filippi, 2024). Trois propriétés en découlent. Le registre est distribué, aucun organe central n'en détient la version de référence ; il est réputé immuable, une écriture validée ne pouvant plus être altérée ni effacée ; il est transparent, chaque participant en détenant une copie tenue à jour. La validation des écritures ne dépend plus d'un tiers de confiance mais d'un mécanisme de consensus entre les nœuds, ce qui a valu à la technologie d'être qualifiée de « machine à confiance » : la promesse est celle de transactions certifiées sans l'intermédiation d'un organe de contrôle (Leloup, 2017). Werbach (2018) décrit plus exactement le déplacement à l'œuvre : le registre ne supprime pas la confiance, il en propose une architecture nouvelle, où la foi accordée aux intermédiaires se

reporte sur le protocole et sur ceux qui l'alimentent. De Filippi, Mannan et Reijers (2020) précisent la nature de cette garantie : la blockchain ne produit pas de la confiance envers des personnes, mais une assurance procédurale dans l'exécution correcte d'un protocole, assurance qui dépend elle-même de la gouvernance du système et laisse donc entière la question des acteurs qui l'alimentent.

Appliquée à une chaîne d'approvisionnement, cette architecture promet une traçabilité d'un type nouveau. Chaque événement du parcours d'un bien (extraction, pesée, transfert, transformation, exportation) serait inscrit, horodaté et rendu infalsifiable, si bien que l'acheteur final pourrait remonter la chaîne entière sans dépendre des déclarations d'intermédiaires. Pour un secteur comme celui des minerais d'Afrique centrale, où la documentation papier se falsifie et où la défiance entre acteurs est générale, la promesse rencontre une attente précise : substituer la preuve à la confiance là où la confiance fait défaut.

1.2. La blockchain comme technologie institutionnelle

Cette lecture strictement technique ne suffit pourtant pas à qualifier l'objet. Davidson, De Filippi et Potts (2018) proposent de voir dans la blockchain moins une technologie d'usage général, dont on analyserait la diffusion et les gains de productivité, qu'une technologie institutionnelle : un dispositif qui coordonne l'action économique (droits de propriété, échange, certification) et qui entre à ce titre en concurrence avec les institutions existantes, marchés, firmes et États. La conséquence analytique est importante. Une institution ne se juge pas à ses propriétés intrinsèques mais à sa capacité effective de coordination dans un environnement donné, environnement qui comprend les autres institutions avec lesquelles elle s'articule.

Cette lecture prolonge l'économie des coûts de transaction, dont le titre même de l'article fondateur revendique l'héritage. Williamson (1985) fait dépendre le choix d'une structure de gouvernance, marché, hiérarchie ou forme hybride, des coûts de mesure et de contrôle attachés aux transactions. Rapportée à ce cadre, la blockchain abaisse le coût de vérification ex post des écritures : chacun peut contrôler, sans tiers, qu'une transaction enregistrée n'a pas été altérée. Elle ne réduit en rien le coût de mesure ex ante des attributs du bien échangé, l'origine d'un sac de minerai par exemple, qui reste supporté au point d'entrée par des dispositifs de contrôle classiques. C'est sur ce coût, déplacé et non supprimé, que butent les cas étudiés plus loin.

Or, s'agissant d'actifs physiques, l'articulation avec les institutions existantes ne va pas de soi. Le registre coordonne des écritures ; il ne coordonne pas des sacs de minerai. Entre le bien

matériel et sa représentation numérique s'intercale nécessairement un acte d'enregistrement (une pesée, une déclaration d'origine, l'apposition d'une étiquette) accompli par un agent que le protocole ne contrôle pas. La qualité de la coordination offerte par le registre dépend donc d'institutions situées en dehors de lui : celles qui encadrent, surveillent et sanctionnent cet acte d'enregistrement. La blockchain les présume ; elle ne les produit pas.

1.3. Le problème de l'oracle : l'interface physique-numérique au point d'entrée

La littérature sur les chaînes d'approvisionnement a donné un nom à cette dépendance : le problème de l'oracle. Le registre étant un système clos, aucun actif du monde réel ne peut y être attaché de façon permanente ; les données qui le concernent y entrent par des intermédiaires, capteurs ou opérateurs humains, que cette littérature appelle des oracles, et dont rien ne garantit la fidélité. Powell, Foth, Cao et Natanelov (2022) formulent le point sous la maxime informatique du « garbage in, garbage out » : la blockchain conserve avec une fiabilité parfaite des données dont elle ne peut vérifier l'exactitude initiale, si bien qu'une information fautive, une fois saisie, se trouve non pas corrigée mais immortalisée. La vulnérabilité du système ne se situe ni dans le protocole ni dans la cryptographie, mais à l'interface entre le monde physique et le monde numérique.

Dans le cas des minerais, cette interface se trouve sur le site d'extraction. C'est là qu'un agent déclare qu'un sac donné contient tel minerai, de telle origine, extrait dans telles conditions. Aucun des dispositifs adjoints au registre ne vérifie cette déclaration : l'identification biométrique établit qui a scellé le sac, non ce qu'il contient ; l'étiquette et la géolocalisation attestent un lieu de saisie, non un lieu d'extraction (NADEL, 2019). Si l'agent se trompe ou triche, parce qu'il y a intérêt, parce qu'il y est contraint, parce que personne ne le contrôle, la chaîne entière certifie fidèlement un mensonge.

Les évaluations empiriques disponibles convergent vers ce même point de vulnérabilité. Le constat de Powell, Foth, Cao et Natanelov (2022) est tiré de pilotes agroalimentaires réels, où les dispositifs couplant registre distribué et internet des objets achoppent sur la fidélité des capteurs et des saisies plutôt que sur le protocole. Sur les chaînes minières, Calvão et Archer (2021) observent que la traçabilité distribuée redistribue la valeur et le contrôle le long de la chaîne sans résoudre la vérification de l'origine au site d'extraction, dont elle demeure entièrement tributaire. Aucune de ces études n'a toutefois éprouvé cette vulnérabilité sur la configuration qui lui est théoriquement la plus défavorable : un déploiement complet, entouré de l'appareil de contrôle le plus dense jamais réuni autour d'un registre minier, dans l'État réputé le plus capable de la région. C'est ce que la comparaison construite ici permet de faire.

Il en résulte une grille de lecture que la suite de l'article met à l'épreuve. La garantie offerte par la traçabilité distribuée est conditionnelle : elle vaut ce que vaut le contrôle exercé au point d'entrée des données. Là où ce contrôle est assuré par des institutions robustes (inspection physique des sites, formalisation des producteurs, sanction crédible de la fraude), le registre prolonge et durcit une traçabilité déjà existante. Là où il fait défaut, le registre ne crée pas la confiance : il déplace le point de fraude vers l'amont et lui confère, une fois la donnée saisie, l'apparence de la preuve. C'est cette proposition que la comparaison des cas rwandais et congolais permet d'examiner, le premier faisant figure de configuration la plus favorable, le second concentrant précisément les conditions défavorables.

2. Démarche méthodologique

2.1. Posture interprétativiste, propositions et étude de cas comparée

La question posée, celle de l'écart entre les promesses de la traçabilité par blockchain et ses résultats effectifs, appelle une démarche compréhensive. Il ne s'agit pas de mesurer un effet, ce qui supposerait des données de déploiement et un contrefactuel dont ni la RDC ni le Rwanda ne disposent, mais de reconstituer le mécanisme par lequel une garantie technologique se défait au contact d'un environnement institutionnel donné. La recherche s'inscrit donc dans un paradigme interprétativiste et mobilise l'étude de cas, méthode indiquée lorsque l'objet ne peut être détaché de son contexte et que la question porte sur le comment d'un phénomène contemporain échappant au contrôle du chercheur (Yin, 2018).

Conformément à cette posture, la recherche est qualitative et exploratoire : elle procède par propositions, non par hypothèses. Deux propositions, déduites du cadre théorique, sont mises à l'épreuve du matériau. La première (P1) : la garantie offerte par un registre distribué s'arrête au point d'entrée des données et ne remonte pas jusqu'à l'origine physique du bien. La seconde (P2) : un dispositif de traçabilité distribuée ne fonctionne que là où le contrôle du site d'extraction préexiste à son déploiement. Le cas rwandais éprouve la première, le cas congolais la seconde.

Le design retenu est celui d'une étude de cas multiple à visée de réplification théorique. Deux cas sont comparés, choisis dans une même chaîne d'approvisionnement régionale, celle des minerais 3T et du cobalt de la région des Grands Lacs, de manière à tenir constants le produit, le marché de destination et le régime international de diligence, tout en faisant varier la force de l'encadrement étatique. Le Rwanda constitue la configuration la plus favorable à la promesse : État centralisé exerçant un contrôle territorial effectif, secteur artisanal organisé en coopératives, volonté politique affichée, et premier déploiement mondial d'une traçabilité du

tantale sur registre distribué. La RDC concentre au contraire les conditions défavorables : point d'entrée massivement informel, contrôle territorial disputé dans les zones minières de l'Est, administration de contrôle fragmentée. Cette construction fait du cas rwandais un cas critique au sens de Yin (2018) : si la garantie technologique se brise au point d'entrée des données là où les conditions sont les meilleures, la première proposition en sort renforcée, et le cas congolais permet alors d'examiner ce qu'il advient de cette garantie quand les conditions manquent toutes à la fois.

Une précision s'impose sur l'instrument. La démarche qualitative exploratoire s'appuie ordinairement sur un guide d'entretien ; le choix d'un corpus documentaire tient ici à l'objet et au terrain. La fraude sur l'origine des minerais se prête mal à la déclaration en entretien, ceux qui l'organisent n'en parlant pas, et les zones concernées, occupées par des groupes armés depuis 2024 pour la plus importante d'entre elles, ne sont pas accessibles au chercheur dans des conditions de sécurité acceptables. Les enquêtes existantes, menées par des organisations disposant de réseaux d'informateurs protégés, offrent en revanche un matériau de première main que l'analyse peut croiser. La validation directe auprès des opérateurs, souhaitable, est renvoyée aux prolongements de la recherche.

2.2. Corpus documentaire et grille d'analyse

Le matériau est exclusivement documentaire. Le corpus croise quatre catégories de sources de statuts distincts. La première rassemble les enquêtes et rapports d'organismes indépendants des dispositifs étudiés : investigations de Global Witness sur les exportations rwandaises de coltan, rapports du Groupe d'experts des Nations unies sur la RDC, cartographies de l'International Peace Information Service, rapports de l'ITIE. La deuxième réunit la documentation produite par les opérateurs des dispositifs eux-mêmes : études de cas publiées par Circulator et la fondation Hyperledger sur le pilote rwandais, communiqués du Responsible Sourcing Blockchain Network, déclarations de l'ITSCI. La troisième comprend les textes normatifs, notamment la loi n° 18/001 du 9 mars 2018 portant révision du Code minier congolais et le guide OCDE sur le devoir de diligence. La quatrième est la littérature académique mobilisée au cadre théorique.

Cette distinction de statuts commande le traitement des sources. La documentation des opérateurs émane de parties intéressées au succès du dispositif qu'elles décrivent ; elle est traitée comme un ensemble de revendications à confronter, jamais comme une preuve d'efficacité. Aucun constat n'est retenu s'il ne repose que sur cette catégorie ; les revendications des opérateurs sont systématiquement triangulées avec les enquêtes

indépendantes, leurs réponses aux mises en cause sont versées au dossier, et les divergences entre ces registres constituent en elles-mêmes un matériau d'analyse.

Le corpus est soumis à une analyse de contenu thématique, au sens de Bardin (2013), conduite à partir d'une grille déduite du cadre théorique et dont les dimensions, résumées au tableau 1, structurent la lecture des deux cas.

Tableau 1. Grille d'analyse appliquée aux deux cas

Dimension	Question posée au matériau
Point d'entrée des données	Où et par qui l'information d'origine est-elle saisie dans le dispositif ?
Institutions de contrôle	Quels mécanismes vérifient physiquement la saisie (inspection, audit, sanction) ?
Modalité de défaillance	Par quel procédé concret la fraude documentée contourne-t-elle le dispositif ?
Portée de la garantie	Jusqu'où la certification offerte à l'acheteur reflète-t-elle l'origine réelle du minerai ?

Source : Auteurs.

2.3. Biais potentiels et limites de validité

La démarche appelle un examen explicite de ses biais, au-delà de l'énoncé général de ses limites.

Le premier biais tient à la fiabilité des rapports mobilisés. Les enquêtes de Global Witness ou de l'IPIIS reposent sur des informateurs, des relevés partiels et des estimations dont la précision est discutée, y compris par les opérateurs mis en cause. Trois précautions y répondent : aucun constat n'est retenu s'il ne repose que sur une source unique ; les chiffres contestés sont présentés avec leur contestation, ainsi l'estimation des 90 % et la réponse de l'ITSCI ; et les relevés du Groupe d'experts des Nations unies, source primaire mandatée par le Conseil de sécurité, servent d'ancrage aux constats les plus lourds.

Le deuxième biais est la subjectivité propre aux sources documentaires. Chaque document du corpus défend une position : les ONG cherchent à établir une défaillance, les opérateurs à défendre leur dispositif, les États leur réputation. L'analyse ne neutralise pas cette subjectivité, elle l'exploite. La confrontation systématique des registres (tableau 2) fait des divergences elles-mêmes un matériau, et les concessions faites par une partie contre son intérêt, telles les suspensions d'exportateurs reconnues par l'ITSCI, reçoivent un poids probant particulier.

Le troisième biais tient à l'évolution rapide du contexte géopolitique. La situation de l'Est congolais s'est transformée entre 2022 et 2026 (prise de Rubaya, escalade du conflit, recompositions diplomatiques), si bien que des constats datés peuvent être dépassés au moment de la lecture. Chaque constat est pour cette raison daté dans le texte, et la

démonstration repose sur le mécanisme, la conversion documentaire au point de saisie, plus que sur des volumes susceptibles de varier avec la conjoncture.

Restent les limites de portée. Deux cas ne fondent pas une généralisation statistique : la comparaison autorise une généralisation analytique, au sens de Yin (2018), vers la proposition théorique, non vers l'ensemble des chaînes d'approvisionnement recourant à la blockchain ; la section 5 précise les conditions de cette transposition. La couverture documentaire est en outre asymétrique, le dispositif rwandais ayant fait l'objet d'une communication abondante de ses opérateurs et d'enquêtes indépendantes nourries, quand le cas congolais se documente surtout par ses défaillances. Cette asymétrie ne joue toutefois pas en faveur de la thèse défendue : la logique du cas critique fait reposer la démonstration sur le cas le mieux documenté, et le cas congolais n'est pas jugé sur un dispositif déployé mais sur la présence ou l'absence des conditions que le cadre théorique identifie. Ces limites bornent la portée des conclusions, qui valent comme mise à l'épreuve de deux propositions sur des configurations contrastées, non comme évaluation d'impact ni comme loi générale.

3. Le cas rwandais à l'épreuve de ses résultats

3.1. Le dispositif Circulor et la plateforme Hyperledger Fabric

Le dispositif rwandais constitue le déploiement le plus abouti de la traçabilité minière par registre distribué. Mis en service à l'automne 2018 sur trois mines et un centre de tri exploités par Power Resources Group, il repose sur une blockchain permissionnée construite sur Hyperledger Fabric et revendique la première traçabilité au monde d'un minerai de conflit de la mine au fabricant (Hyperledger Foundation, 2020) ; l'existence et la date du pilote sont confirmées par l'institut géologique des États-Unis (USGS, 2020). Son architecture illustre précisément la tentative de sécuriser l'interface décrite en première section. Toute personne entrant dans la mine ou vendant un sac de minerai est identifiée par reconnaissance faciale ; chaque sac reçoit une étiquette inviolable, QR ou NFC, associée à une géolocalisation ; les étiquettes sont scannées à chaque transfert jusqu'à Kigali puis jusqu'à la raffinerie ; un bilan massique compare enfin le poids du minerai entrant et de la poudre sortante afin de détecter tout ajout frauduleux en cours de traitement (Hyperledger Foundation, 2020).

Le dispositif empile donc, autour du registre, les contrôles destinés à fiabiliser la saisie : identification de l'opérateur, scellement du contenant, attestation du lieu, contrôle de cohérence des masses. Il faut cependant relever ce que chacun de ces contrôles établit. La biométrie identifie la personne qui scelle le sac ; l'étiquette et le GPS attestent le lieu où le sac est étiqueté ; le bilan massique vérifie la cohérence interne d'un circuit déjà fermé. Aucun

n'établit que le minerai contenu dans le sac a été extrait à l'endroit déclaré. La grille théorique conduit dès lors à poser au cas rwandais une question simple : qu'advient-il d'un minerai qui entre dans le circuit en amont du premier scellement ?

3.2. L'écart entre le récit officiel et les observations indépendantes

Les enquêtes indépendantes menées sur les exportations rwandaises de minerais 3T répondent à cette question. Global Witness établissait dès 2022 que le système de traçabilité dominant au Rwanda, l'ITSCI, avait servi à blanchir des minerais de contrebande représentant, selon l'estimation d'un ancien responsable de Pact (l'organisation qui avait installé le système dans le pays) près de 90 % du tantale, de l'étain et du tungstène exportés au cours des premières années du dispositif (Global Witness, 2022a). L'enquête publiée en 2025 précise le procédé : des étiquettes censées attester l'origine des lots sont apposées à Kigali, parfois à la frontière même, ce qui suffit à convertir un coltan congolais en coltan déclaré rwandais (Global Witness, 2025).

Le Groupe d'experts des Nations unies documente pour sa part, en source primaire, le mécanisme situé en amont de cette conversion. Depuis la prise de Rubaya, le 30 avril 2024, la coalition AFC-M23 y a organisé une administration parallèle de la production, du commerce et du transport des minerais (permis délivrés aux creuseurs contre redevance, monopole d'exportation, patrouilles armées) et a contrôlé l'acheminement vers le Rwanda d'environ cent vingt tonnes de coltan par mois entre la mi-mai et la fin octobre 2024, dont la taxation lui a rapporté au moins huit cent mille dollars mensuels (Groupe d'experts sur la RDC, 2024, par. 56 à 66). Le même rapport qualifie l'épisode de contamination la plus importante des chaînes d'approvisionnement en minerais 3T enregistrée dans la région des Grands Lacs depuis dix ans. Dans le même temps, les exportations du principal exportateur rwandais concerné ont atteint en 2024 un volume supérieur au total cumulé des quatre années précédentes, croissance qui coïncide avec l'escalade de la guerre au Nord-Kivu (Global Witness, 2025).

L'enquête que Global Witness a consacrée en 2026 au devenir de ce flux prolonge le constat jusqu'à l'aval de la chaîne. Au moins mille quatre cents tonnes de coltan seraient sorties illégalement de la zone de Rubaya durant la première année d'occupation ; les exportations rwandaises de coltan ont plus que doublé entre 2021 et 2025 ; sept sociétés concentrent environ 85 % des exportations du pays et, pour au moins cinq d'entre elles, l'enquête documente l'achat de coltan congolais de contrebande, revendu par intermédiaires à des fonderies établies en Chine et au Kazakhstan (Global Witness, 2026). Les contrebandiers interrogés décrivent l'apposition des étiquettes de traçabilité à Kigali ou à la frontière ;

l'organisation relève en outre que le Rwanda refuse les outils d'analyse des signatures géochimiques qui permettraient de vérifier l'origine déclarée des lots (Global Witness, 2026). Conformément à la démarche exposée en 2.2, la position des opérateurs mis en cause doit être versée au dossier. L'ITSCI récuse l'ensemble de ces allégations : l'organisation revendique le traitement de mille trois cents incidents en 2021, juge le rapport de 2022 sensationnaliste et sélectif, et conteste l'estimation des 90 % (ITSCI, 2022) ; sur l'enquête de 2025, elle met en doute la plausibilité du volume de cent vingt tonnes mensuelles avancé par le Groupe d'experts, tout en admettant que les risques de fraude transfrontalière ont augmenté depuis l'avancée du M23 (ITSCI, 2025). Les éléments qu'elle a communiqués depuis à Global Witness nuancent cette défense : l'organisation a suspendu ou exclu six exportateurs de coltan depuis 2024 et recensé, pour la seule année 2025, soixante-dix incidents liés à des doutes de vraisemblance ou au mésusage d'étiquettes (Global Witness, 2026). L'arbitrage entre ces registres repose d'abord sur les éléments de preuve indépendants : les données publiées par le ministère congolais des Mines corroborent les relevés d'étiquetage sur lesquels reposait l'enquête de 2022 (Global Witness, 2022b), et les relevés du Groupe d'experts constituent une source primaire distincte des enquêtes de l'ONG (Groupe d'experts sur la RDC, 2024). Le retrait de l'ITSCI de la liste des dispositifs d'assurance approuvés par la Responsible Minerals Initiative, principal mécanisme industriel d'assurance des fondeurs de minerais 3T (Global Witness, 2023), n'a pas la même valeur probante, puisqu'il s'agit d'un jugement d'acteurs et non d'une preuve, mais il indique que l'industrie qui s'appuyait sur l'opérateur n'a pas été convaincue par sa défense.

Le tableau 2 confronte, conformément à la démarche annoncée, les revendications des opérateurs des dispositifs et les constats des sources indépendantes.

Tableau 2. Triangulation des revendications et des constats sur la traçabilité rwandaise

Revendication des opérateurs	Constat des sources indépendantes	Sources
Traçabilité « de la mine au fabricant » prouvant une origine rwandaise conforme aux normes OCDE	Étiquetage pratiqué à Kigali ou à la frontière, convertissant du minerai congolais en minerai déclaré rwandais	Hyperledger Foundation (2020) ; Global Witness (2025, 2026)
Chaîne de possession ininterrompue garantie par scellés, GPS et bilan massique	Entrée du minerai de contrebande en amont du premier scellement, hors de portée des contrôles du circuit	Hyperledger Foundation (2020) ; Global Witness (2022a, 2025)
Dispositif conçu pour rassurer régulateurs et acheteurs internationaux	Environ 120 tonnes de coltan par mois passées en contrebande de Rubaya vers le Rwanda entre la mi-mai et la	Groupe d'experts sur la RDC (2024)

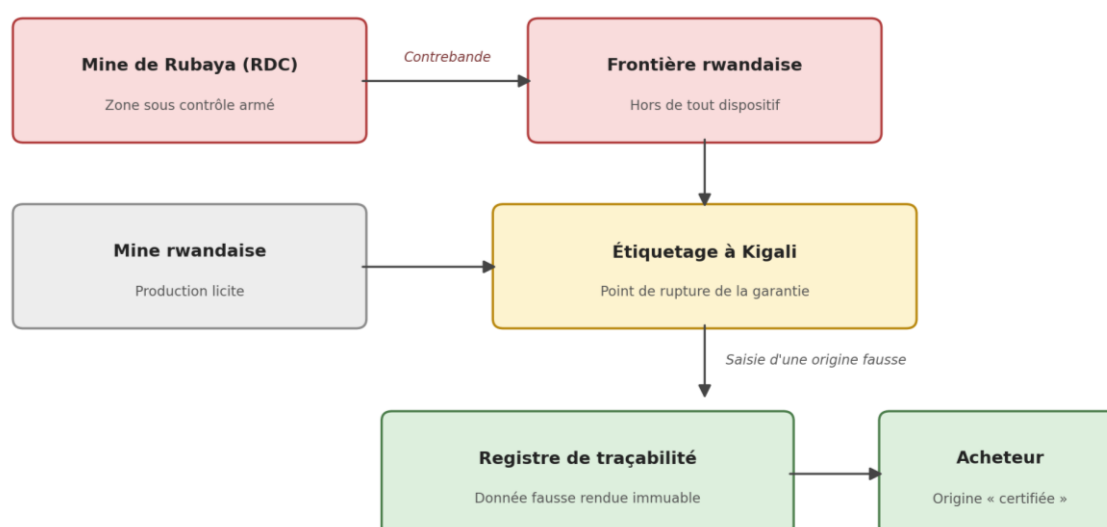
	fin octobre 2024	
Contestation par l'ITSCI du blanchiment systémique : 1 300 incidents revendiqués comme traités en 2021, chiffres jugés exagérés	Retrait de l'ITSCI de la liste des mécanismes d'assurance approuvés par la Responsible Minerals Initiative ; six exportateurs de coltan suspendus ou exclus depuis 2024	ITSCI (2022, 2025) ; Global Witness (2023, 2026)
Extension du modèle présentée comme voie d'assainissement régional	Croissance des exportations rwandaises coïncidant avec l'occupation des mines de Rubaya par le M23 ; refus des outils de vérification géochimique de l'origine	Global Witness (2025, 2026)

Source : Auteurs.

3.3. Les limites de la garantie technologique

Rapportées à la grille du tableau 1, ces observations se laissent situer terme à terme : le point d'entrée des données se trouve à l'étiquetage, pratiqué à Kigali ou à la frontière ; l'institution de contrôle défaillante est le dispositif de certification lui-même ; la modalité de défaillance est la saisie d'une origine fausse en amont du premier scellement ; et la portée de la garantie s'arrête, en conséquence, à l'aval de ce scellement. La figure 1 situe ce point de rupture.

Figure 1. Point de rupture de la garantie dans la chaîne du coltan transitant par le Rwanda



En amont de l'étiquetage, aucun contrôle du registre ne s'applique ; en aval, tout est fidèlement conservé.

Source : Auteurs, à partir de Global Witness (2022a, 2025, 2026), Groupe d'experts sur la RDC (2024) et Hyperledger Foundation (2020).

La figure fait apparaître ce que le tableau 2 établissait déjà : les deux flux, licite et frauduleux, convergent au même point, celui de l'étiquetage, et deviennent indiscernables en aval. Le minerai extrait d'une mine rwandaise et le minerai passé en contrebande depuis Rubaya reçoivent le même scellé, entrent dans le même registre et ressortent porteurs de la même

certification. Tout ce que le dispositif enregistre ensuite (transferts, pesées, bilan massique) est exact ; c'est la première écriture qui ne l'est pas, et le registre la conserve avec la même fidélité que les autres.

Trois enseignements se dégagent du cas rwandais, qui prolongent la grille théorique de la première section.

Le premier tient à la localisation exacte de la défaillance. Aucune des enquêtes indépendantes ne met en cause le protocole cryptographique, la plateforme Hyperledger Fabric ou l'intégrité du registre une fois la donnée saisie. La fraude documentée opère intégralement en amont de la première écriture, dans l'espace que la première section désignait comme l'interface physique-numérique. Le cas corrobore donc la première proposition (P1) dans sa forme la plus exigeante : même adossée à l'appareil de contrôle le plus dense jamais déployé autour d'un registre minier (biométrie, scellés, géolocalisation, bilan massique), la garantie ne remonte pas au-delà du point de saisie.

Le deuxième enseignement corrige une lecture trop simple de la variable institutionnelle. La comparaison construite en 2.1 opposait un État fort à un État fragmenté, comme si la capacité de contrôle suffisait à fiabiliser la saisie. Or le cas rwandais montre qu'un État parfaitement capable de contrôler son territoire peut n'avoir aucun intérêt à contrôler l'origine des minerais qui y transitent, lorsque leur réexportation nourrit ses recettes. La condition institutionnelle dégagée en première section doit donc être précisée : la fiabilité du point d'entrée ne requiert pas seulement des institutions capables de vérifier, mais des institutions ayant intérêt à ce que la vérification aboutisse. La capacité sans l'alignement des intérêts produit exactement la configuration observée : un dispositif techniquement irréprochable posé sur un flux structurellement frauduleux. Le refus opposé par le Rwanda aux outils d'analyse des signatures géochimiques, qui permettraient précisément de vérifier l'origine déclarée des lots (Global Witness, 2026), en fournit l'indice le plus direct : l'instrument de vérification existe, c'est la demande de vérification qui manque.

Le troisième enseignement concerne l'effet propre de la technologie dans une telle configuration. Loin d'être neutre, un registre immuable alimenté de données fausses fait pire que les systèmes qu'il remplace : il confère à la fraude l'apparence de la preuve. Le certificat papier falsifié restait contestable, précisément parce que chacun savait la falsification possible ; l'écriture blockchain, elle, se présente à l'acheteur international comme incontestable. Le dispositif ne réduit pas l'asymétrie d'information entre l'amont de la chaîne et l'acheteur final, il la déplace et la durcit : l'acheteur sait désormais tout du parcours du sac, et toujours rien de

son contenu initial. C'est en ce sens précis qu'il faut comprendre le résultat rwandais : la technologie n'a pas échoué à faire ce qu'elle promet, elle a réussi à faire ce qu'elle peut, et ce qu'elle peut ne couvre pas ce qui était promis.

Reste à éprouver la seconde proposition dans un contexte où les conditions manquent toutes à la fois. C'est l'objet de la section suivante, consacrée au cas congolais.

4. L'absence des conditions de réussite en République Démocratique du Congo

4.1. Le premier maillon artisanal et informel comme point de rupture

Contrairement à ce qu'une lecture rapide suggérerait, la RDC n'est pas un terrain vierge de traçabilité distribuée. Le Responsible Sourcing Blockchain Network, construit sur Hyperledger Fabric à l'initiative d'IBM, de Ford, de Volkswagen, de LG Chem et de Huayou Cobalt, y a conduit dès 2019 un pilote jugé concluant : du cobalt a été suivi de la mine à l'usine de cathodes de LG Chem en Corée du Sud, puis jusqu'à une usine Ford aux États-Unis, avec constitution d'une piste d'audit immuable (RSBN, 2019). Le détail décisif tient dans le périmètre de ce succès : le cobalt tracé provenait du site minier industriel de Huayou, c'est-à-dire d'une enceinte fermée, à effectifs identifiés, où le contrôle du point d'entrée préexistait au dispositif. Le pilote n'a pas créé les conditions de la traçabilité ; il les a trouvées sur place et les a numérisées.

Or ce périmètre est précisément celui qui pose le moins problème. L'exploitation artisanale et à petite échelle fait vivre en RDC des centaines de milliers de creuseurs et fournit une part notable de la production de cobalt et l'essentiel des minerais 3T de l'Est du pays, dans des circuits largement informels où prospèrent des prélèvements sans base légale (ITIE-RDC, 2023). C'est elle qui concentre les enjeux de la traçabilité (mélange de minerais, minerais de conflit, contrebande) et c'est elle qu'aucun dispositif sur registre distribué n'a couverte à l'échelle. Le rapport de Global Witness sur l'ITSCI documente ce qui se passe au point d'entrée dans ce secteur : les agents publics chargés de l'étiquetage, faiblement rémunérés, scellent le plus grand nombre de sacs possible sans considération d'origine, et des membres du personnel de terrain du dispositif sont accusés de collaborer au blanchiment contre une part du produit (Global Witness, 2022a). La défaillance observée au Rwanda se retrouve donc, aggravée, du côté congolais de la frontière, et elle se produit dans un système d'étiquetage physique dont un registre distribué ne ferait que numériser les écritures. Remplacer le carnet papier par une chaîne de blocs ne change ni la personne qui appose le scellé, ni sa rémunération, ni les pressions qu'elle subit ; cela change seulement le support sur lequel sa déclaration, vraie ou fausse, devient définitive.

4.2. Gouvernance, infrastructure et économie politique de la fraude

Trois ordres de conditions font défaut simultanément, et leur cumul distingue le cas congolais du cas rwandais.

Le premier est le contrôle territorial. Sur les 829 sites miniers artisanaux visités par l'International Peace Information Service entre 2021 et 2023 dans l'Est du pays, 61 % des creuseurs subissent l'ingérence d'acteurs armés ; l'armée congolaise en est le premier auteur, ses pratiques illicites de prélèvement touchant 37 % des mines de l'enquête, tandis que les groupes armés non étatiques interfèrent sur 29 % des sites (IPIS, 2023). Là où l'acteur qui contrôle physiquement la mine est celui-là même qui profite de la fraude sur l'origine, la question de l'oracle ne se pose plus en termes de vérification défaillante : le point d'entrée des données est tenu par la partie qu'il s'agirait de surveiller. Le raffinement théorique dégagé du cas rwandais, selon lequel la fiabilité de la saisie exige des institutions non seulement capables de vérifier mais intéressées à la vérification, trouve ici sa configuration limite, celle où l'intérêt contraire est armé.

Le deuxième ordre de conditions est administratif. La formalisation du secteur artisanal, préalable à toute identification fiable des producteurs, demeure embryonnaire : une large part de l'exploitation s'exerce hors des cadres prévus à cet effet, dans des espaces où la présence des creuseurs n'a pas de statut et où les flux financiers échappent aux circuits autorisés (ITIE-RDC, 2023). Un dispositif d'enregistrement biométrique suppose des opérateurs enregistrables ; un secteur dont les acteurs n'ont ni statut foncier ni existence administrative n'offre pas cette prise. S'y ajoutent les contraintes matérielles (connectivité, électricité, équipement) qui renchérissent tout déploiement en zone minière reculée, sans toutefois constituer l'obstacle principal : le cas rwandais a montré qu'une infrastructure fonctionnelle ne protège en rien la véracité de la saisie. L'IPIS relève d'ailleurs que les initiatives d'approvisionnement responsable restent largement inefficaces dans ce contexte, en raison notamment de leur dépendance excessive à l'égard d'agents de l'État sous-payés et de la capture du dispositif par les élites (IPIS, 2023).

Le troisième ordre est l'économie politique du statu quo. La fraude sur l'origine des minerais n'est pas une défaillance du système congolais, elle en est un produit : elle rémunère une chaîne d'intermédiaires, d'agents publics et d'acteurs armés dont aucun n'a intérêt à ce qu'un dispositif la rende impossible. La contrebande vers les pays voisins s'appuie sur des réseaux structurés, entretenant des relations de confiance durables, où figurent jusqu'aux fonctionnaires des services chargés de la combattre (Niyorugira, 2024). Un registre distribué

introduit dans cet environnement ne rencontre pas un manque de confiance à combler, mais des intérêts constitués à contrarier, situation dans laquelle la technologie institutionnelle, qui présuppose la coopération des acteurs au point d'entrée, n'a par construction aucun levier.

4.3. La portée réelle d'un dispositif de traçabilité minière

Rapportées à la grille du tableau 1, les observations des deux cas se laissent désormais synthétiser terme à terme. Le tableau 3 en présente la lecture croisée.

Tableau 3. Synthèse comparée des deux cas selon la grille d'analyse

Dimension	Rwanda	RDC
Point d'entrée des données	Étiquetage à Kigali ou à la frontière, en aval de la contrebande	Étiquetage sur sites artisanaux par des agents publics faiblement rémunérés ; sites industriels fermés pour les pilotes
Institutions de contrôle	Capacité étatique élevée, mais intérêt fiscal à la réexportation du minerai entrant	Contrôle territorial disputé, formalisation embryonnaire, agents de contrôle partie prenante de la fraude
Modalité de défaillance	Conversion documentaire d'un minerai congolais en minerai rwandais au moment de la saisie	Scellement sans considération d'origine ; ingérence armée au point d'extraction
Portée de la garantie	Intègre en aval du scellement, muette en amont	Réelle sur les périmètres industriels fermés, inexistante sur le secteur artisanal qui concentre le problème

Source : Auteurs, à partir de Global Witness (2022a, 2025, 2026), Groupe d'experts sur la RDC (2024), IPIS (2023), ITIE-RDC (2023, 2024) et RSBN (2019).

Cette lecture croisée précise la portée réelle d'un dispositif de traçabilité par blockchain en contexte congolais. Le pilote RSBN y joue le rôle d'une troisième configuration, qui complète la comparaison et isole la variable décisive : registre distribué et contrôle effectif du point d'entrée y coexistent, sur un périmètre industriel fermé, et le dispositif y fonctionne, preuve que la technologie n'est pas en cause lorsque les conditions institutionnelles sont réunies à la saisie. Il peut donc faire ce que ce pilote a fait : durcir la documentation d'une chaîne dont l'amont est déjà contrôlé, c'est-à-dire servir les flux industriels qui posaient le moins de difficultés. Il ne peut pas faire ce que le discours dominant lui prête : créer, sur le secteur artisanal, un contrôle de l'origine qui n'existe pas. Entre ces deux périmètres, le risque identifié au Rwanda se reproduit à l'identique : un dispositif partiel offre aux minerais qui parviennent à y entrer, par les voies documentées en 4.1, une certification d'autant plus précieuse qu'elle est réputée infalsifiable.

La seconde proposition (P2) se trouve ainsi établie sur les deux configurations congolaises à la fois : positivement sur les périmètres industriels fermés, où le dispositif fonctionne parce

que le contrôle lui préexiste, et négativement sur le secteur artisanal, où rien de tel n'existe. La discussion qui suit examine ce que ces résultats doivent au secteur étudié et ce qu'ils lui débordent.

5. Discussion

5.1. Une vulnérabilité générique, une gravité sectorielle

Les résultats qui précèdent pourraient passer pour une singularité minière. La littérature consacrée aux autres chaînes d'approvisionnement suggère le contraire : le point de vulnérabilité identifié ici est observé partout où un registre distribué rencontre des biens physiques.

Dans l'agroalimentaire, secteur le plus étudié, le bilan des projets recensés par Kamilaris, Fonts et Prenafeta-Boldú (2019) tient en un contraste : la technologie est jugée prometteuse, mais les obstacles relevés ne sont pas d'abord techniques ; ils concernent l'accès des petits producteurs aux dispositifs, la gouvernance des consortiums et la fiabilité des informations versées au registre. Les pilotes couplant registre et internet des objets, examinés par Powell, Foth, Cao et Natanelov (2022) et déjà mobilisés au cadre théorique, achoppent au même endroit : la qualité des capteurs et des saisies, non le protocole. La logistique et les chaînes globales livrent un enseignement voisin. Kshetri (2018) conclut que la contribution du registre aux objectifs de gestion des chaînes dépend entièrement de la qualité des données qui y entrent, et Saberi, Kouhizadeh, Sarkis et Shen (2019) classent la fiabilité des informations fournies par les partenaires parmi les barrières inter-organisationnelles qui conditionnent l'adoption. Le rapprochement le plus instructif vient de Hastig et Sodhi (2020), qui étudient conjointement deux secteurs que tout sépare, l'extraction du cobalt et l'industrie pharmaceutique : les facteurs de réussite qu'ils dégagent, qualité des données à la source, collaboration des acteurs, capacités des maillons les plus faibles de la chaîne, sont communs aux deux.

Le problème de l'oracle est donc générique ; sa gravité, elle, est sectorielle, et le secteur minier en concentre la forme la plus sévère pour trois raisons que la comparaison éclaire. Le minerai est un bien fongible : à la différence d'un médicament sérialisé ou d'un lot agricole doté de marqueurs biologiques, un sac de coltan congolais ne se distingue en rien d'un sac de coltan rwandais, si bien que la déclaration d'origine ne peut être contrôlée par l'examen du bien lui-même. Le point d'entrée pharmaceutique est une usine, enceinte fermée à opérateurs identifiés, configuration que le pilote RSBN a retrouvée sur le site industriel de Huayou ; le point d'entrée minier artisanal est un site ouvert, informel, parfois tenu par des hommes en

armes. Enfin, l'autorité chargée du contrôle est, dans les cas étudiés, intéressée à la fraude, situation que les chaînes agroalimentaires ou pharmaceutiques des économies encadrées ne connaissent pas à ce degré. La généralisation des résultats appelle donc la prudence annoncée en 2.3 : ce qui se transpose n'est pas le constat, c'est le mécanisme, et son intensité dépend de trois variables, la fongibilité du bien, la formalisation du point d'entrée et l'alignement des intérêts de l'autorité de contrôle, que chaque terrain combine autrement.

5.2. Ce que les cas apprennent à la théorie

Trois cadres théoriques, sollicités au fil de l'analyse, peuvent maintenant être confrontés aux résultats.

L'économie des coûts de transaction d'abord. Structure de gouvernance au sens de Williamson (1985), la blockchain abaisse le coût de vérification ex post des écritures ; les deux cas montrent qu'elle laisse intact, et même qu'elle masque, le coût de mesure ex ante des attributs du bien. L'économie réalisée sur la vérification est réelle, mais elle porte sur le segment de la transaction qui posait le moins de difficultés ; le coût de mesure de l'origine est simplement reporté sur des institutions de contrôle dont le registre dépend sans les financer. Le calcul d'ensemble peut donc être négatif : le dispositif rwandais coûte, en biométrie, scellés et géolocalisation, davantage que le système qu'il double, pour une assurance qui ne couvre pas le seul attribut disputé.

La gouvernance collaborative ensuite. Un dispositif de traçabilité réunit acteurs publics et privés autour d'une vérification commune ; il relève à ce titre de la gouvernance collaborative, dont Ansell et Gash (2008) ont dégagé les conditions de réussite à partir de cent trente-sept cas : incitations à participer, asymétries de pouvoir contenues, histoire préalable de coopération plutôt que de conflit, engagement des parties dans le processus. Le contraste des deux terrains se lit directement dans cette grille. Aucune de ces conditions n'est réunie dans l'Est congolais, où les asymétries sont armées et où l'histoire est celle d'une défiance organisée. Le Rwanda les réunit en apparence, mais l'incitation dominante y joue contre la vérification, ce qui confirme que la collaboration formelle ne vaut rien sans alignement des intérêts.

La confiance numérique enfin. Werbach (2018) et De Filippi, Mannan et Reijers (2020) décrivent la blockchain comme une architecture qui déplace la confiance plutôt qu'elle ne la supprime : de l'intermédiaire vers le protocole, du protocole vers sa gouvernance, de la gouvernance vers les acteurs qui saisissent les données. Les cas étudiés donnent à ce déplacement son point d'arrivée empirique : la confiance aboutit, en bout de chaîne, chez

l'agent qui appose une étiquette sur un sac, à Kigali ou sur un site du Nord-Kivu. Toute l'architecture repose sur ce geste, que rien dans l'architecture ne garantit. Pour la gouvernance des technologies numériques, l'implication dépasse le cas étudié : un dispositif numérique de certification vaut ce que vaut le maillon humain le moins contrôlé de sa chaîne d'alimentation, et c'est ce maillon, non la sophistication du registre, qui devrait concentrer l'évaluation des projets.

Conclusion

Cet article est parti d'une énigme : la traçabilité par blockchain, présentée comme la réponse aux défaillances de la gouvernance minière en Afrique centrale, n'a pas produit les résultats promis, y compris là où les conditions paraissaient les plus favorables. La réponse tient dans les deux propositions que les cas éprouvent chacune : la blockchain ne résout pas le problème de confiance, elle le déplace vers le point précis où le minerai physique devient une donnée numérique, point qui échappe par construction à la garantie du registre (P1) ; et ses dispositifs ne fonctionnent que là où le contrôle de ce point leur préexiste (P2). Au Rwanda, l'appareil de contrôle le plus dense jamais déployé autour d'un registre minier n'a pas empêché que le point de saisie demeure le lieu d'une conversion documentaire massive de minerais congolais en minerais rwandais ; en RDC, les dispositifs fonctionnent exactement dans la mesure où le contrôle du site d'extraction leur préexiste, ce qui les confine aux périmètres industriels fermés et les rend indisponibles là où se concentre le problème qu'ils prétendent traiter.

La contribution est triple. Sur le plan théorique, la lecture de la blockchain comme technologie institutionnelle (Davidson, De Filippi & Potts, 2018) débouche sur une condition que le cas rwandais oblige à préciser : la fiabilité du point d'entrée exige des institutions non seulement capables de vérifier la saisie, mais intéressées à ce que la vérification aboutisse. La capacité sans l'alignement des intérêts produit un dispositif techniquement irréprochable posé sur un flux structurellement frauduleux. Sur le plan empirique, la comparaison documente un effet propre que la littérature enthousiaste ignore : un registre immuable alimenté de données fausses aggrave les défauts des systèmes qu'il remplace, en conférant à la fraude l'apparence de la preuve ; la discussion établit en outre que cette vulnérabilité, observée dans l'agroalimentaire, la pharmacie et la logistique, trouve dans le secteur minier sa forme la plus sévère. L'implication pratique, enfin, est d'ordre séquentiel : le contrôle physique du premier kilomètre (formalisation des exploitants artisanaux, assainissement des corps de contrôle,

désarmement de l'économie de la fraude) est le préalable de la traçabilité numérique, non son produit. L'ordre des réformes n'est pas indifférent, il est toute la question.

Ces conclusions ont les limites exposées en 2.3 : un corpus documentaire sans observation directe, des sources dont les biais ont été traités plutôt qu'ignorés, des chiffres d'enquête que les opérateurs mis en cause contestent, contestation que l'analyse a intégrée comme matériau, et deux cas qui n'autorisent qu'une généralisation analytique.

Quatre prolongements s'ouvrent. Le premier est empirique : conduire des entretiens auprès des opérateurs des dispositifs, des agents d'étiquetage, des coopératives et des négociants, pour éprouver de l'intérieur le mécanisme que le corpus documentaire n'atteint que de l'extérieur. Le deuxième est comparatif : étendre l'analyse à d'autres pays producteurs où la capacité de l'État et l'alignement des intérêts se combinent autrement, la Zambie pour le cuivre et le cobalt, l'Indonésie pour le nickel, le Chili pour le cuivre et le lithium, afin de tester la condition d'alignement dégagée du cas rwandais. Le troisième est technologique : examiner ce que l'intelligence artificielle, appliquée à la détection d'anomalies dans les déclarations (volumes incompatibles avec la capacité connue d'un site, teneurs improbables), peut apporter comme oracle de second rang, capable de signaler les saisies suspectes que le registre conserve aujourd'hui sans les interroger. Le quatrième porte sur les signatures géochimiques, qui rattachent un lot à son gisement d'origine indépendamment de toute déclaration : le refus rwandais de ces outils indique que l'obstacle n'y est pas technique, et l'étude des conditions politiques de leur adoption prolongerait directement la thèse défendue ici.

Références bibliographiques

- Ansell, C., & Gash, A. (2008). Collaborative governance in theory and practice. *Journal of Public Administration Research and Theory*, 18(4), 543-571. <https://doi.org/10.1093/jopart/mum032>
- Bardin, L. (2013). *L'analyse de contenu* (2e éd.). Presses universitaires de France.
- Calvão, F., & Archer, M. (2021). Digital extraction: Blockchain traceability in mineral supply chains. *Political Geography*, 87, 102381. <https://doi.org/10.1016/j.polgeo.2021.102381>
- Davidson, S., De Filippi, P., & Potts, J. (2018). Blockchains and the economic institutions of capitalism. *Journal of Institutional Economics*, 14(4), 639-658. <https://doi.org/10.1017/S1744137417000200>
- De Filippi, P. (2024). *Blockchain et cryptomonnaies* (3e éd.). Que sais-je ?/Humensis.
- De Filippi, P., Mannan, M., & Reijers, W. (2020). Blockchain as a confidence machine: The problem of trust & challenges of governance. *Technology in Society*, 62, 101284. <https://doi.org/10.1016/j.techsoc.2020.101284>
- Global Witness. (2022a, avril). The ITSCI laundromat. How a due diligence scheme appears to launder conflict minerals. <https://globalwitness.org/en/campaigns/natural-resource-governance/itsci-laundromat/>
- Global Witness. (2022b, 4 novembre). ITSCI is unwilling to address failures of its due diligence scheme [déclaration]. <https://www.globalwitness.org/en/press-releases/itsci-unwilling-address-failures-its-due-diligence-scheme-companies-must-now-pressure-it-take-strong-action/>
- Global Witness. (2023). Annual report 2022. Rising to the challenge of a world in crisis. <https://globalwitness.org/en/about-us/annual-reports/annual-report-2022-rising-to-the-challenge-of-a-world-in-crisis/>
- Global Witness. (2025, 16 avril). New investigation suggests EU trader Traxys buys conflict minerals from DRC. <https://globalwitness.org/en/campaigns/transition-minerals/new-investigation-suggests-eu-trader-traxys-buys-conflict-minerals-from-drc/>
- Global Witness. (2026, 10 juin). Who buys Rwanda's smuggled coltan? The global journey of conflict coltan from DRC to the world's electronics. <https://globalwitness.org/en/campaigns/transition-minerals/who-buys-rwandas-smuggled-coltan-the-global-journey-of-conflict-coltan-from-drc-to-the-worlds-electronics/>

- Groupe d'experts sur la République Démocratique du Congo. (2024, 27 décembre). Rapport à mi-parcours du Groupe d'experts sur la République Démocratique du Congo (S/2024/969). Conseil de sécurité des Nations unies. <https://undocs.org/fr/S/2024/969>
- Hastig, G. M., & Sodhi, M. S. (2020). Blockchain for supply chain traceability: Business requirements and critical success factors. *Production and Operations Management*, 29(4), 935-954. <https://doi.org/10.1111/poms.13147>
- Hyperledger Foundation. (2020). Circular achieves first-ever mine-to-manufacturer traceability of a conflict mineral with Hyperledger Fabric [étude de cas]. <https://www.lfdecentralizedtrust.org/case-studies/tantalum-case-study>
- IPIS. (2023). Analysis of the interactive map of artisanal mining areas in eastern Democratic Republic of Congo. 2023 update. International Peace Information Service. <https://ipisresearch.be/publication/analysis-of-the-interactive-map-of-artisanal-mining-areas-in-eastern-democratic-republic-of-congo-2023-update/>
- ITIE-RDC. (2023). Rapport ITIE sur le secteur de l'exploitation minière artisanale et à petite échelle dans la chaîne de valeur du cuivre-cobalt-zinc. Initiative pour la transparence dans les industries extractives. <https://eiti.org/sites/default/files/2023-04/ASM%20-%20ITIE-RDC%20-%20Rapport%20final%20-%2027-03-2023.pdf>
- ITIE-RDC. (2024). Rapport ITIE-RDC. Exercice 2022. Initiative pour la transparence dans les industries extractives. <https://eiti.org/sites/default/files/Rapport%20ITIE%20RDC%202022.pdf>
- ITSCI. (2022, 28 juin). ITSCI's statement in response to Global Witness « The ITSCI Laundromat ». <https://www.itsci.org/2022/06/28/itsci-response-to-global-witness-the-itsci-laundromat/>
- ITSCI. (2025, 2 mai). ITSCI comments on recent Global Witness investigation. <https://www.itsci.org/2025/05/02/itsci-comments-on-recent-global-witness-investigation/>
- Kamilaris, A., Fonts, A., & Prenafeta-Boldú, F. X. (2019). The rise of blockchain technology in agriculture and food supply chains. *Trends in Food Science & Technology*, 91, 640-652. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2019.07.034>
- Kshetri, N. (2018). Blockchain's roles in meeting key supply chain management objectives. *International Journal of Information Management*, 39, 80-89. <https://doi.org/10.1016/j.ijinfomgt.2017.12.005>
- Leloup, L. (2017). Blockchain, la révolution de la confiance. Eyrolles.

- NADEL – ETH Zürich. (2019, avril). Why blockchain can't solve the problem with conflict minerals. <https://nadel.ethz.ch/news0/news/2019/04/why-blockchain-cant-solve-the-problem-with-conflict-minerals.html>
- Niyorugira, D. (2024). La fraude et la contrebande des minerais de 3T dans les territoires de Masisi et de Walikale au Nord-Kivu. Pole Institute.
- Powell, W., Foth, M., Cao, S., & Natanelov, V. (2022). Garbage in garbage out: The precarious link between IoT and blockchain in food supply chains. *Journal of Industrial Information Integration*, 25, 100261. <https://doi.org/10.1016/j.jii.2021.100261>
- RSBN. (2019, 16 janvier). Ford Motor Company, Huayou Cobalt, IBM, LG Chem and RCS Global launch blockchain pilot to address concerns in strategic mineral supply chains [communiqué de presse]. Responsible Sourcing Blockchain Network / PR Newswire.
- Saberi, S., Kouhizadeh, M., Sarkis, J., & Shen, L. (2019). Blockchain technology and its relationships to sustainable supply chain management. *International Journal of Production Research*, 57(7), 2117-2135. <https://doi.org/10.1080/00207543.2018.1533261>
- USGS. (2020). 2018 Minerals yearbook. Tantalum. U.S. Geological Survey. <https://pubs.usgs.gov/myb/vol1/2018/myb1-2018-tantalum.pdf>
- Werbach, K. (2018). The blockchain and the new architecture of trust. MIT Press.
- Williamson, O. E. (1985). The economic institutions of capitalism: Firms, markets, relational contracting. Free Press.
- Yin, R. K. (2018). Case study research and applications. Design and methods (6e éd.). Sage.