



HAL
open science

Métaux critiques pour la transition énergétique et développement durable en Afrique

Antoine Clair, Luc Jacolin, Paul Vertier

► **To cite this version:**

Antoine Clair, Luc Jacolin, Paul Vertier. Métaux critiques pour la transition énergétique et développement durable en Afrique. 2024. hal-04477373

HAL Id: hal-04477373

<https://hal.science/hal-04477373v1>

Preprint submitted on 28 Feb 2024

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.



Distributed under a Creative Commons Attribution - NonCommercial - NoDerivatives 4.0 International License

Métaux critiques pour la transition énergétique et développement durable en Afrique

Antoine CLAIR, Luc JACOLIN, Paul VERTIER

➔ ANTOINE CLAIR, Banque de France (au moment de la rédaction)

➔ LUC JACOLIN, Adjoint au chef de service, Service de l'Afrique et du Développement, Banque de France & Expert Ferdi

➔ PAUL VERTIER, Économiste, Banque de France

Résumé

La transition énergétique en cours des énergies fossiles vers les énergies renouvelables pourrait induire des effets contrastés sur les économies africaines, notamment via un développement accru de l'extraction de métaux critiques à cette transition. Cet article décrit les opportunités et les défis posés par le développement de l'extraction de ces métaux. Si la part de l'Afrique dans les réserves et la production mondiale est en hausse, elle demeure toutefois loin de son potentiel. Divers facteurs, tels que le manque d'investissement dans les transports et les enjeux de gouvernance, sont susceptibles d'accroître les coûts d'exploration et d'exploitation sur le continent, et de freiner le développement du secteur. ... / ...

Codes JEL : N17, O13, P48

Mots-clés : métaux critiques, minerais critiques, transition énergétique, Afrique

Remerciements : Nous remercions Bruno Cabrillac, Vincent Fleuriot, Michaël Goujon, Yannick Kalantzis, Édouard Mien et les participants au séminaire de recherche Banque de France-FERDI, pour leurs commentaires et suggestions. Une version précédente de cet article a été publiée dans un chapitre du *Rapport annuel 2022 des coopérations monétaires Afrique-France*.

... /... L'accroissement attendu de la demande mondiale pour ces métaux critiques pourrait représenter une source importante de recettes pour les pays producteurs, ainsi qu'une opportunité de diversification pour les pays exportateurs nets d'énergies fossiles, à condition toutefois que l'offre puisse s'ajuster. L'extraction de métaux critiques ne pourra devenir une source de développement durable qu'en s'articulant avec des politiques fiscales et budgétaires adaptées, avec une gestion maîtrisée de ses impacts sociaux et environnementaux, et avec un développement des chaînes de valeur en aval de l'extraction.

En Afrique, le secteur extractif a jusqu'à présent représenté à la fois une opportunité de développement et une expression de la « malédiction des ressources naturelles¹ ». Le « supercycle » de hausse des prix des matières premières s'est traduit, jusqu'en 2014, par une augmentation de la croissance et des recettes publiques africaines, qui a représenté une promesse de développement durable. Toutefois, depuis 2014, en période de baisse ou de variations marquées des prix, la forte dépendance du continent au secteur extractif a favorisé non seulement une plus forte volatilité économique, mais également un accroissement des déséquilibres budgétaires et extérieurs, générant une hausse des risques de surendettement. À moyen et long terme, les « externalités négatives » et les distorsions économiques et politiques engendrées par le secteur extractif ont pu, selon les pays, compliquer la mise en œuvre d'un partage juste des rentes extractives, limiter les effets d'entraînement économique d'un secteur essentiellement « enclavé » et retarder l'atteinte des Objectifs de développement durable (ODD, à l'agenda 2030 des Nations unies).

La transition énergétique en cours des énergies fossiles vers les énergies renouvelables pourrait induire des effets contrastés sur les économies africaines qui dépendent du secteur extractif. Elle risque de peser lourdement sur l'économie et les finances des producteurs de pétrole, mais représente aussi une nouvelle opportunité de développement² non seulement pour le secteur extractif, mais également pour le secteur des énergies renouvelables, l'Afrique disposant d'avantages comparatifs en la matière (Cnuced, 2023). La demande et les prix des « métaux critiques »³ indispensables à la transition énergétique sont en effet appelés à croître très fortement d'ici à 2050. Cet article vise à décrire les opportunités, et les défis, posés par le développement de l'extraction de ces métaux en Afrique, notamment en comparaison du secteur pétrolier. Si le secteur des métaux critiques indispensables à la transition énergétique soulève de nombreux enjeux environnementaux, sociaux et de gouvernance (ESG) semblables à ceux du secteur pétrolier, il s'en distingue par un aspect important : en assurant certaines des conditions nécessaires au développement des énergies renouvelables, il pourrait contribuer à stimuler un rattrapage du secteur énergétique, sous réserve que des politiques publiques adéquates contribuent à concrétiser cette nouvelle promesse.

¹ La malédiction des ressources naturelles désigne un ensemble de difficultés spécifiques aux pays riches en ressources naturelles (croissance plus faible que les autres, inégalités plus marquées...). Voir Jacolin et Vertier (2022) dans le Rapport CMAF 2021.

² L'accumulation des crises sanitaires, géopolitiques et énergétiques, depuis 2020, a d'ores-et-déjà stimulé l'investissement dans l'industrie minière en Afrique (Gardes-Landolfini *et al.*, 2023).

³ Les métaux constituent des éléments chimiques issus de la table périodique des éléments, tandis que les minéraux sont des substances chimiques cristallines. Les minerais désignent des roches contenant des minéraux. Nous nous concentrons ici essentiellement sur des métaux, mais utilisons les termes « métaux », « matériaux » ou « minerais » de façon interchangeable.

1. En Afrique, les réserves et la production de métaux critiques essentiels à la transition énergétique augmentent, mais le potentiel de production est encore loin d'être atteint

A. L'importance croissante de l'Afrique dans la production mondiale de métaux critiques pour la transition énergétique

Notre analyse se concentre sur sept métaux critiques parmi les plus importants pour l'Afrique : le cobalt, le cuivre, l'étain, le graphite, le lithium, le manganèse et le titane⁴. Cette sélection se fonde sur la liste des 27 métaux critiques identifiés par Miller *et al.* (2023) comme jouant un rôle essentiel dans la transition énergétique, très proche d'autres listes établies notamment par la Banque mondiale (2017) et Espagne et Lapeyronie (2023). Pour chacun de ces métaux, nous sélectionnons ceux : i) dont la part africaine dans la production mondiale, selon les données de *United States Geological Survey* (USGS)⁵, dépasse 5 % en 2022 ; ii) produits dans plusieurs pays africains ; iii) qui font partie de la liste des dix métaux critiques ayant la plus forte demande anticipée selon Miller *et al.* (2023) ; et iv) dont la couverture des données USGS, tant pour la production que pour les réserves, est suffisamment précise. Le cobalt, le manganèse, le graphite, le cuivre et le lithium couvrent l'ensemble de ces critères. Quoiqu'exclus de la liste des dix métaux affichant la plus forte demande anticipée, nous étendons notre analyse au titane et à l'étain, produits à respectivement 35 % et 7 % en Afrique, dans un grand nombre de pays et avec des données de production suffisamment fiables. Les autres métaux produits en quantité notable en Afrique (vanadium, chrome, tantale et hafnium), soit ne sont produits que dans un seul pays africain (l'Afrique du Sud, pour le chrome et le vanadium), soit ne figurent pas dans la liste des dix métaux à forte demande (tantale et hafnium), soit présentent des données de réserves USGS lacunaires. Selon USGS (2020), les ressources désignent une concentration naturelle de matière solide, liquide, ou gazeuse d'une forme et d'une quantité telle que son extraction est actuellement ou potentiellement réalisable. Les réserves prouvées ou connues (désignées « réserves » dans cet article) représentent la part des ressources pouvant faire l'objet d'une extraction profitable à la date d'évaluation (même si les infrastructures d'extraction ne sont pas encore en place). Elles peuvent être considérées comme un inventaire des entreprises minières retraçant leur capacité d'offre d'un minerai dont elles jugent l'extraction profitable.

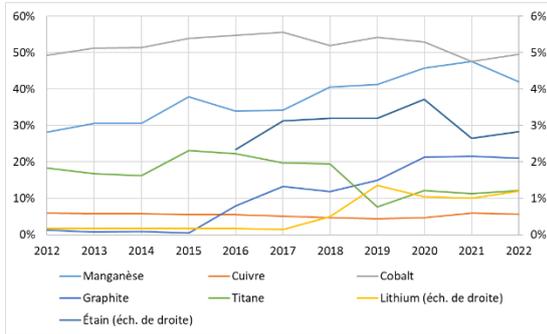
Les parts de l'Afrique dans les réserves et la production mondiale de ces sept métaux ont, dans l'ensemble, fortement augmenté au cours de la dernière décennie (Graphiques 1 et 2). Entre 2012 et 2022, les réserves mondiales de manganèse ont été multipliées par 2,5, celles de lithium par 2 et celles de graphite par 4. Les réserves de cuivre ont augmenté de 30 % et celles de cobalt de 10 %. La production, elle aussi, a fortement crû, de 11 % en dix ans pour le graphite, de 25 % à 35 % pour le manganèse, le cuivre, l'étain et de 85 % pour le cobalt. Celle de lithium a été presque multipliée par 4. La part de l'Afrique dans les réserves a nettement augmenté pour le manganèse (de 30 % à 40 %) et le graphite (de 0 % à environ 1,5 %). Concernant les réserves mondiales de cobalt et le titane, la part de l'Afrique s'élève respectivement à 50 % et 10 %, mais tend à baisser. S'agissant de la production, la part de l'Afrique a progressé depuis 2012 pour la quasi-totalité des métaux considérés, à l'exception du lithium (pour lequel les données de la production africaine sont lacunaires)⁶.

⁴ Tous sont des métaux, à l'exception du graphite, qui est une forme cristalline de carbone.

⁵ Pour les éléments de terres rares, nous considérons le montant des réserves, car les données de production sont parcellaires ; pour le lithium, nous considérons les données de ressource, car ces dernières ont une étendue géographique nettement plus importante.

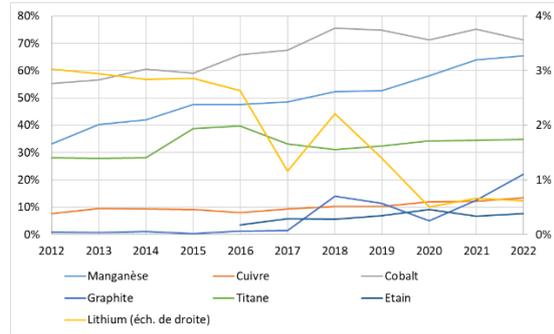
⁶ Chiffres à interpréter avec prudence, car ne prenant pas en compte l'exploitation informelle, parfois importante (par exemple, le cobalt en RDC).

Graphique 1. Part de l’Afrique dans les réserves de 7 métaux critiques (%)



Source : USGS, calcul des auteurs.

Graphique 2. Part de l’Afrique dans la production de 7 métaux critiques (%)

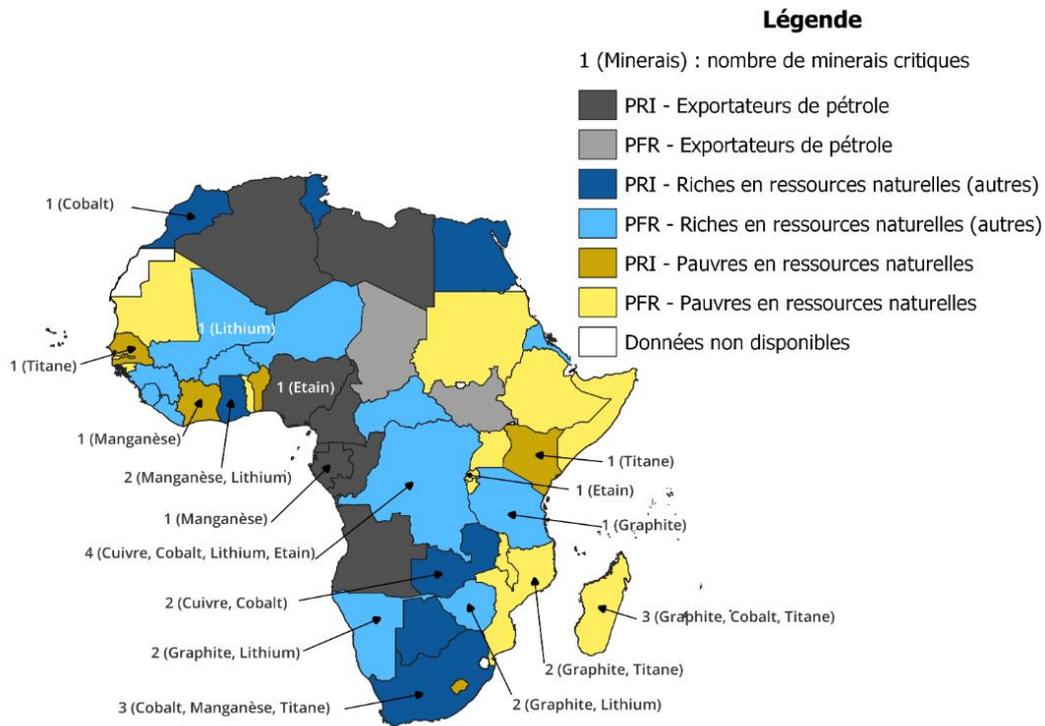


Source : USGS, calcul des auteurs.

L’Afrique possède ainsi un nombre important de pays producteurs majeurs de minerais critiques essentiels à la transition énergétique, répartis toutefois de façon hétérogène. En 2022, l’Afrique du Sud était le premier producteur mondial de manganèse et le troisième de titane ; le Gabon, le deuxième producteur mondial de manganèse ; la République démocratique du Congo (RDC), le premier producteur mondial de cobalt ; le Mozambique, le deuxième producteur mondial de graphite et le troisième producteur mondial de cuivre ; et Madagascar, le troisième producteur mondial de graphite.

Les métaux critiques pour la transition énergétique en Afrique se trouvent pour les trois quarts localisés dans les pays à faible revenu et le développement de leur exploitation constitue un enjeu de développement durable. L’analyse de la répartition des ressources naturelles en Afrique (pétrole, autres ressources naturelles, métaux critiques identifiés) et par niveau de revenu (faible, intermédiaire) fait apparaître trois enjeux distincts (Carte 1). Les pays producteurs d’énergies fossiles (pétrole, charbon, etc.) ont bénéficié d’une hausse du revenu par tête, et sont, à l’exception du Tchad et du Soudan du Sud, des pays à revenu intermédiaire. Néanmoins, cette hausse ne s’est pas forcément traduite par d’importants progrès en matière de développement économique et humain : en 2015, avant la forte baisse des prix mondiaux du pétrole, l’indice de développement humain des pays exportateurs de pétrole dans le monde demeurait globalement inférieur à celui des pays affichant un PIB par tête équivalent. La diversification économique vers d’autres ressources minières (en particulier les métaux critiques) constitue pour eux un enjeu majeur afin de pallier les risques liés à la perte de compétitivité de leur secteur pétrolier (dont les coûts d’exploitation et les émissions de gaz à effet de serre sont respectivement de 15 à 50 % et 80 % plus élevés que la moyenne mondiale [McKinsey, 2022]), à l’épuisement de la ressource ou à sa perte de valeur (risque d’actifs échoués). C’est également le cas de l’Afrique du Sud, exportatrice de charbon et dont le commerce extérieur pourrait pâtir d’une transition énergétique mondiale (Le Goff et Vertier, 2023), mais qui dispose d’importantes ressources de différents minerais. Par ailleurs, les pays producteurs de métaux critiques pour la transition énergétique, et plus largement les pays riches en ressources naturelles (hors pétrole), sont, pour les trois quarts, des pays à faible revenu, ce qui pose pour eux un enjeu stratégique d’articulation entre l’exploitation des ressources naturelles et l’atteinte des ODD. Enfin, l’Afrique de l’Est reflète un cas singulier du continent africain puisque, sur la base des données existantes, la région concentrerait des pays à faible revenu et pauvres en ressources naturelles.

Carte 1. Pays riches en ressources naturelles par niveau de revenu.

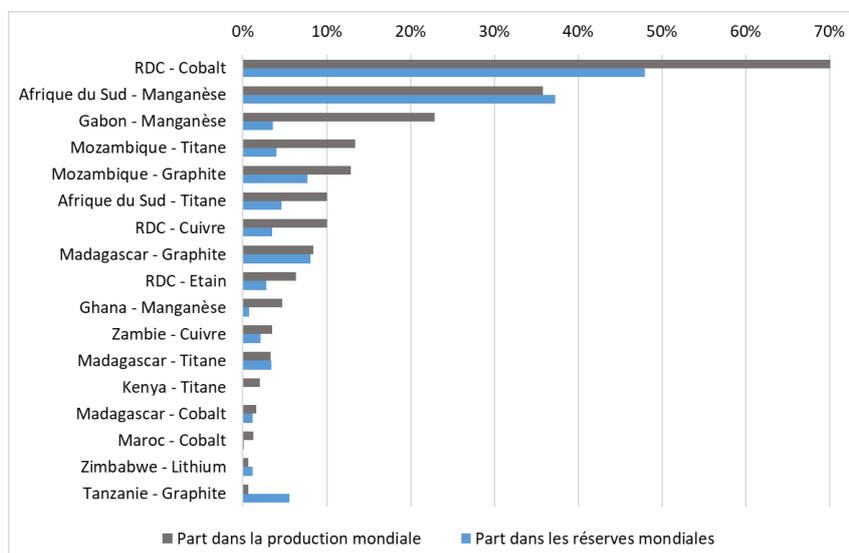


Source : USGS (2012-2022), FMI (2022).

Notes : PFR et PRI désignent respectivement pays à faible revenu et pays à revenu intermédiaire. Les pays d'ASS riches en ressources naturelles sont définis selon la classification établie par le FMI (exportations de ressources supérieures à 20 % des exportations totales). Concernant les pays d'Afrique du Nord (non classifiée par le FMI), la catégorisation retenue est celle de Mlachila et Ouedraogo (2017).

B. Les gisements de métaux africains ont, en apparence, une durée de vie plus limitée qu'ailleurs, ce qui reflète une possible sous-estimation des réserves du continent

Graphique 3. Part dans la production mondiale et dans les réserves mondiales en 2022 (%)



Source : USGS, calcul des auteurs.

Si la progression de l'Afrique dans les réserves mondiales et la production de minerais critiques pour la transition énergétique est indéniable, le continent se distingue du reste du monde par un épuisement plus rapide de ses réserves. En effet, en 2022, à de rares exceptions près, la part dans la production mondiale des économies africaines est bien supérieure à leur part dans les réserves mondiales (Graphique 3).

Cet épuisement apparemment plus rapide des réserves pourrait refléter des spécificités africaines en matière de risques et de rendements des projets d'extraction (Khan *et al.*, 2016). L'Afrique pourrait se caractériser par des risques et des coûts plus élevés qu'ailleurs, notamment en amont de la mise en production, qui pourraient entraîner une sous-estimation des réserves :

- Les dépenses d'exploration minières y sont parmi les plus faibles au monde (S&P Global, 2022a) et sont fortement concentrées sur le secteur aurifère (S&P Global, 2022b). Ramenées à la surface du continent et en excluant le secteur aurifère, elles deviennent inférieures à celles des autres continents (Natural Resource Governance Institute, 2022), du fait notamment d'études géologiques encore partielles (Schacherer et Kang, 2021) ;
- Après la découverte d'un gisement, seule une partie des ressources découvertes est exploitée (45 % en moyenne au niveau mondial [Schodde, 2014]), un chiffre sans doute plus faible en Afrique, notamment dans les pays en conflit ou instables politiquement ;
- Les délais de mise en exploitation peuvent être, selon les minerais, plus élevés en Afrique qu'ailleurs selon le type de métaux – par exemple, de 19 ans pour le cuivre, contre 17 ans en moyenne (Schodde, 2014) ;
- L'exploitation des petits et moyens gisements peut être freinée par la forte présence des grands groupes miniers internationaux, couplée à un morcellement de petits États, et un étoffement insuffisant du tissu de petites et moyennes entreprises et des capacités techniques locales. Ce contexte conforte l'enclavement du secteur minier et la concentration

des investissements directs étrangers (IDE) sur les gisements les plus importants (Africa Development Forum, 2023). Les enjeux d'attractivité internationale (climat des affaires, incitations fiscales et réglementaires...) apparaissent ainsi centraux pour de nombreux États africains souhaitant développer les IDE ;

- S'agissant des gisements de moindre ampleur, les exploitations de minerais de petite taille, souvent informelles et rurales, jouent un rôle particulièrement important en Afrique (Banque mondiale, 2020), notamment en termes de création d'emplois. Elles impliquent également des enjeux de recensement (Maus et Werner, 2024), de capture de la rente et de taxation (par la formalisation de ses activités), ainsi que des coûts sociaux et environnementaux particulièrement élevés (Merem *et al.*, 2018 ; Von der Goltz et Barnwal, 2019 ; Gittard et Hu, 2023 ; Goldblatt *et al.*, 2023)⁷ ;
- Enfin, la capacité de mobilisation des ressources budgétaires auprès du secteur minier peut être plus faible que sur d'autres continents ou qu'anticipé initialement (Mihalyi et Scurfield, 2021). Les ressources budgétaires issues des ressources naturelles (y compris le pétrole) ne représentent en moyenne que 38 % de la valeur de la rente minière en Afrique (Africa Development Forum, 2023), ce chiffre pouvant être plus faible encore pour le secteur minier. Cela limite la capacité des autorités locales à financer les infrastructures de transport et d'énergie nécessaires au développement du secteur minier.

2. Plusieurs facteurs sont susceptibles d'affecter le développement du secteur minier en Afrique

A. La qualité des infrastructures et de la gouvernance constitue un frein à l'exploration et à la mise en exploitation des réserves africaines

Le développement des minerais critiques en Afrique fait face à de nombreuses contraintes plus prégnantes qu'ailleurs, parmi lesquelles les goulots d'étranglement liés à la faiblesse des capacités administratives et les incertitudes qui résultent d'un climat des affaires moins favorable et d'une moindre qualité de la gouvernance (corruption, risques liés à l'évasion des capitaux).

Alors que les infrastructures tiennent une place primordiale dans le développement économique, notamment les réseaux de transport (Donaldson, 2018 ; Fiorini, 2021), la distribution de ces derniers en Afrique est inefficace et inégalement répartie dans l'espace (Graff, 2019 ; Fontagné *et al.*, 2023). D'autres types d'infrastructures sont cruciaux pour le développement économique, en particulier pour l'exploitation minière. Les insuffisances des infrastructures électriques, notamment en Afrique du Sud, constituent ainsi l'une des raisons de la baisse de productivité (Le Goff et Vertier, 2023) et de compétitivité des sociétés d'extractions minières. Cette dernière pourrait être compensée par le développement de sites de production d'énergie proches des sites d'extraction. L'enjeu du développement des infrastructures apparaît d'autant plus important qu'elles semblent attirer les IDE (Armah, 2016), et permettent ainsi de financer la recherche et l'exploitation des minerais critiques.

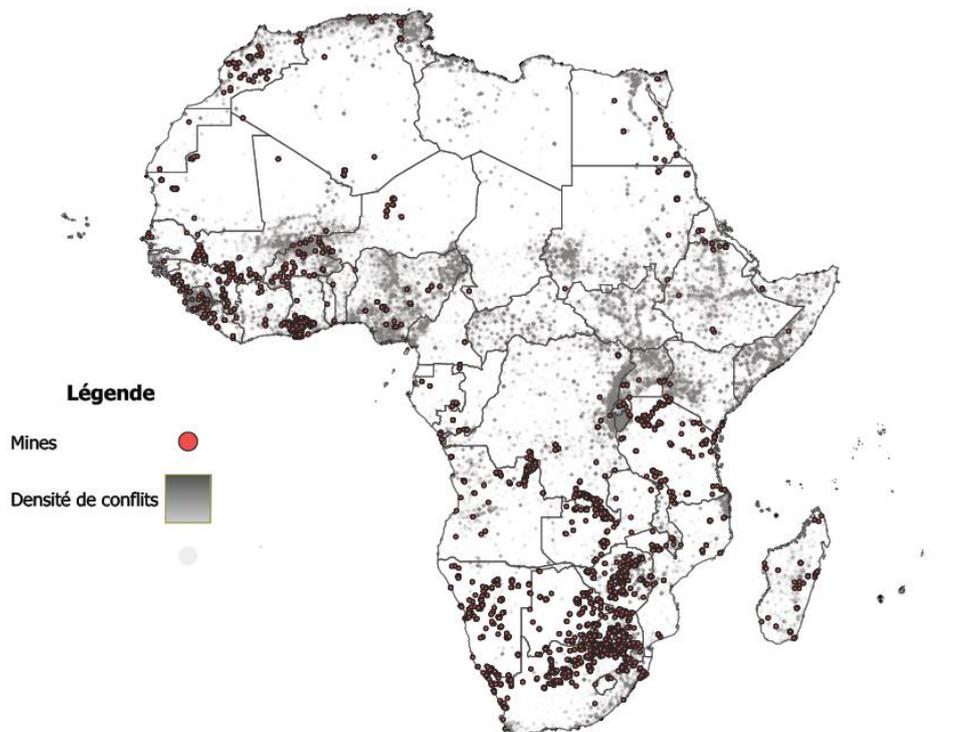
Les interactions entre investissements miniers et développement ont notamment été documentées dans le cadre de la « Nouvelle route de la soie » chinoise, dont l'impact pour le développement africain demeure un champ de débat ouvert. Si les nombreux investissements d'entreprises chinoises dans des projets d'infrastructures à même de faciliter le transport et

⁷ Les activités de recyclage des produits électroniques et des métaux, en développement rapide, en constituent le pendant urbain (Moyo *et al.*, 2022).

l'exploitation des minerais africains sont susceptibles de contribuer à la croissance du continent (Zhang, 2021), ils renforceraient en outre le contrôle chinois sur la production de métaux et accentueraient la dépendance économique du continent vis-à-vis de ce pays (Ericsson *et al.*, 2020).

Les enjeux de gouvernance et de corruption constituent également un frein important à l'exploration et à l'exploitation des ressources en Afrique. Les pays dont la gouvernance est plus faible sont moins attractifs pour les investisseurs (Natural Resource Governance Institute, 2022) et les investissements publics en proie à la corruption engendrent souvent des coûts plus élevés et des infrastructures de moins bonne qualité (Pattanayak *et al.*, 2020). Pour une ressource donnée, une corruption plus marquée ou une gouvernance de moindre qualité rallongent le temps de mise en exploitation. Selon Khan *et al.* (2016), si les indicateurs de gouvernance des pays à faible revenu atteignaient ceux de l'Amérique latine, le temps de mise en exploitation des ressources découvertes serait réduit de trois ans.

Carte 2. Densité des conflits (1997-2022) et localisation des mines (mesurée en 2019, hors pétrole et gaz) en Afrique



Sources : ACLED, Maus *et al.* (2022).

Notre analyse de données d'exploitations minières géolocalisées confirme le rôle joué par la gouvernance dans la localisation des exploitations. En s'appuyant sur la base de données satellitaires de Maus *et al.* (2022) qui géolocalise 4 917 mines en Afrique (Carte 2), nous documentons, aux frontières des pays africains, une discontinuité marquée du nombre de mines, en faveur du pays dont le score de gouvernance est le plus élevé, à partir d'un cadre proche de celui de Cust et Harding (2021). Pour chaque paire de pays partageant une frontière, nous calculons la distance à la frontière des mines observées en 2019 (cf. Carte 3 pour la Guinée et la Côte d'Ivoire). Nous comparons ensuite la densité des observations de part et d'autre de la frontière : pour chaque

paire, les observations du pays affichant le meilleur score Polity moyen étudié entre 1965 et 1995⁸ sont placées à droite du seuil, et les observations du pays présentant le moins bon score Polity moyen entre 1965 et 1995 sont placées à gauche du seuil.

L'identification des effets repose sur diverses hypothèses. Tout d'abord, elle repose sur l'hypothèse que les ressources naturelles présentes sous terre sont exogènes aux tracés des frontières. Le continent africain est celui ayant la plus grande part de frontières « artificielles », 80 % des tracés suivant des lignes longitudinales ou latitudinales (Alesina *et al.*, 2011). Si un certain nombre de frontières suivent des contraintes géographiques locales, la probabilité qu'une ethnie ait connu une partition ne dépend pas de la présence de ressources minières (Michalopoulos et Papaioannou, 2016). De part et d'autre des frontières, au sein d'une même ethnie, les caractéristiques géographiques et politiques apparaissent uniformément réparties (Michalopoulos et Papaioannou, 2014). La deuxième hypothèse est qu'il n'existe pas de biais de mesure systématique des mines de part et d'autre des frontières (i.e. que la discontinuité observée n'est pas un simple artefact lié à des différences systématiques de *reporting* entre deux pays). Ce risque est toutefois limité par le fait que notre analyse repose sur des données satellitaires⁹. Une dernière hypothèse est qu'il n'existe pas de causalité inverse, i.e. que la plus ou moins grande densité de mines à la frontière commune de deux pays n'a pas d'impact sur les indices relatifs de gouvernance de ces deux pays. Dans une configuration idéale, nous comparerions uniquement les localisations de mines dont la découverte ou la mise en exploitation a démarré après une date préétablie pour le calcul du score Polity¹⁰. Cependant, nous n'observons pas la date d'ouverture de ces mines. Nous choisissons donc de calculer le score Polity sur une plage temporelle i) large (afin d'éviter de capturer des variations propres à une seule année) et ii) dont la date de fin est suffisamment éloignée de la date de mesure de la présence de mines (afin de prendre en compte les délais souvent importants d'exploration et de mise en exploitation des gisements)¹¹. Nous ne pouvons toutefois pas éliminer la possibilité que certaines mines aient été ouvertes *avant* la date de fin du calcul du score Polity, ce qui est susceptible de générer des biais de sens incertain. Nous ne pouvons ainsi pas totalement écarter le risque que l'ouverture des mines identifiées aux frontières aient pu avoir des effets sur la gouvernance de leurs pays (les découvertes de gisements de matières premières ayant des conséquences économiques et politiques marquées, cf. Arezki *et al.*, 2017 ; Harding *et al.*, 2020), voire sur la conflictualité avec le pays voisin. Néanmoins, il apparaît peu probable que cela affecte systématiquement le différentiel de score Polity entre ces deux pays au cours de la période de référence.

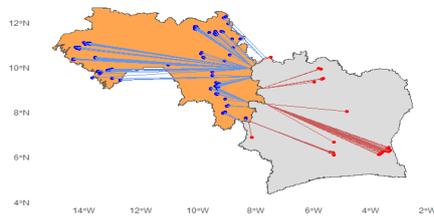
⁸ Le score Polity, calculé annuellement, va de -10 (formes de régimes les plus autocratiques) à 10, (les plus démocratiques).

⁹ Ces données peuvent inclure des mines illégales. Maus *et al.* (2024) montrent que plus de la moitié des mines identifiées dans leur base de données ne sont pas répertoriées dans la base de données S&P, qui repose sur des rapports d'entreprises. Selon les auteurs, cela peut refléter un *reporting* insatisfaisant des déclarations d'entreprises autant que la présence de mines illégales dans les données satellites, sans que des régularités claires puissent être identifiées. À supposer que les mines illégales soient surreprésentées dans des environnements à plus faible gouvernance, en cas de présence de telles mines dans les données satellites, le résultat que nous obtenons est susceptible d'être biaisé vers zéro, et de représenter une borne inférieure de la sensibilité des exploitations légales aux conditions de gouvernance.

¹⁰ Cette approche est celle de Cust et Harding (2021), qui opèrent une régression de discontinuité du nombre d'explorations selon la distance à la frontière, en plaçant à droite les observations du pays ayant le meilleur score de gouvernance en 1965, et à gauche les observations du pays ayant le moins bon score. Leurs données leur permettent de ne sélectionner que les explorations opérées après 1965.

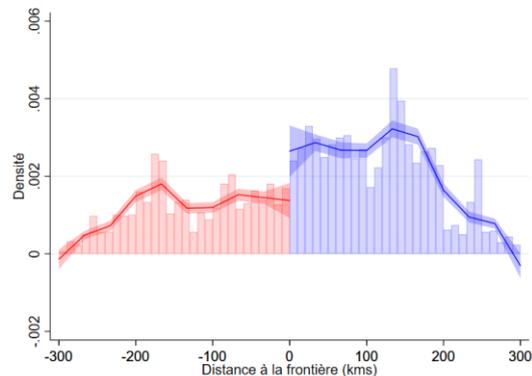
¹¹ Notre approche diffère de celle de Cust et Harding (2021), s'agissant de la méthode utilisée. Leur approche par la régression de discontinuité suppose de générer un grand nombre de points d'observations fictifs (des « zéros »), localisés au hasard, pour lesquels il n'existe pas de mines, ce qui n'est pas nécessaire dans notre approche par les densités d'observations.

Carte 3. Distance à la frontière des mines de la Guinée et de la Côte d'Ivoire en 2019



Note : les droites correspondent aux distances des mines à la frontière.
Source : Maus *et al.* (2022), calcul des auteurs.

Graphique 4. Différence de densité des mines autour des frontières en 2019



Note : Rupture de densité à la frontière par paire de pays (au sein de chaque paire, le pays avec un meilleur score Polity est à droite de 0, et le pays avec un moins bon score Polity est à gauche de 0). Intervalle de confiance à 95 %. Estimation selon la méthode de Cattaneo, Jansson and Ma (2018), avec un polynôme de degré 3. Le score Polity est calculé entre 1965 et 1995. Les données sont agrégées par intervalles de 10 km.
Source : Maus *et al.* (2022), calcul des auteurs.

Dans l'analyse statistique de base (Graphique 4), afin de limiter les biais mentionnés ci-dessus, nous mettons en œuvre diverses restrictions sur l'échantillon d'analyse. Nous considérons un score Polity sur la période 1965-1995 ; nous ne considérons que les paires de pays ayant en moyenne un écart de 2 dans leur score Polity (afin que les pays considérés aient des écarts importants en matière de score de gouvernance) ; et chaque mine n'est utilisée que dans une seule paire de pays, là où sa distance à la frontière est la plus proche. Ceci revient à étudier 3 344 observations, pour 38 paires de pays et 38 pays distincts. En annexe (Graphiques A.1 à A.4), nous montrons que la discontinuité aux frontières est robuste à différentes hypothèses alternatives (à la fois en matière de plage utilisée pour calculer le score Polity, d'écart minimum de score Polity considéré pour sélectionner les paires de pays, et de polynômes utilisés pour l'estimation des densités).

Enfin, la mise en exploitation des ressources minières engendre elle-même des risques de corruption ou de violences plus marqués que pour les ressources pétrolières, en raison de possibilités d'exploitation informelle plus importantes. Ce lien, mis en évidence de façon causale sur l'ensemble du continent (Knutsen *et al.*, 2017 ; Berman *et al.*, 2017), peut être observé dans la carte sur la localisation des conflits et des mines, notamment aux frontières (Carte 2) entre RDC et Rwanda/Burundi, Burkina Faso et Mali, Algérie et Tunisie, ou Sierra Leone et Guinée.

B. La réaction de la production africaine aux prix de marché suggère la présence d'effets coûts importants en aval du processus de production

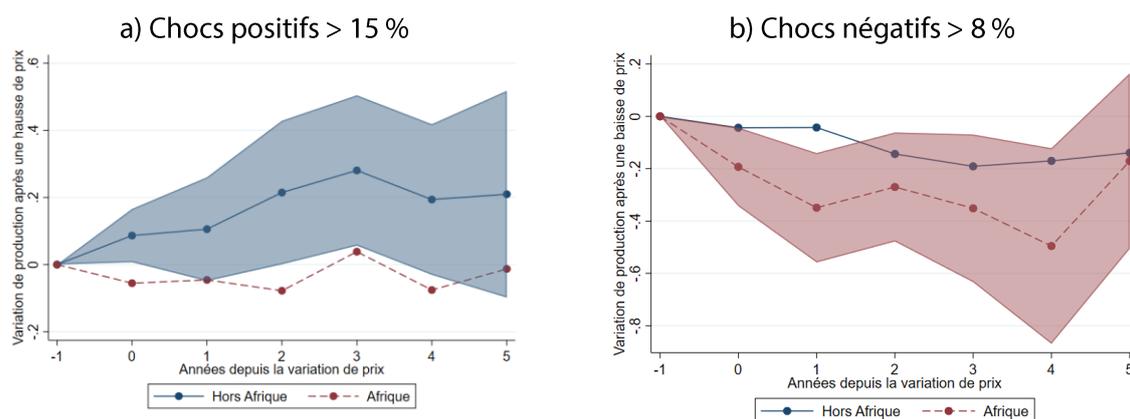
Alors que la capacité de l'offre de métaux critiques à s'ajuster à la demande est un enjeu clé de la transition énergétique mondiale (Gardes-Landolfini *et al.*, 2023 ; Miller *et al.*, 2023), l'élasticité-prix de l'offre de métaux est relativement peu documentée. Si certains travaux suggèrent une rentabilité plus élevée des projets miniers en Afrique une fois la production initiée (Schodde, 2019 ; Banque mondiale, 2020), notamment du fait de réglementations environnementales et sociales plus faibles (Espagne et Lapeyronie, 2023) peu d'études informent sur la réaction de l'offre de métaux aux fluctuations des prix de marché (à l'exception notable de Boer *et al.*, 2023)¹². De tels travaux, notamment ceux documentant des asymétries de réaction à des chocs haussiers ou baissiers, pourraient pourtant être riches en enseignements sur les coûts relatifs des différents intervenants et sur leur capacité à adapter leur production aux variations de prix. La réaction de la production de matières premières a été largement étudiée dans le cas du secteur pétrolier, à travers la notion de seuil de rentabilité, qui varie selon les pays producteurs et les types de carburant extraits. Ainsi, lors de la baisse des prix du pétrole en 2020, les producteurs indépendants nigériens, dont les seuils de rentabilité sont plus élevés qu'ailleurs, avaient un risque plus élevé de devoir réduire leurs investissements et leur production (Cherif et Matsumoto, 2020), de même que les producteurs américains de pétrole issu du schiste.

Nous évaluons la réaction de la production aux variations de prix passées, sur la base des données USGS collectées entre 2012 et 2022 pour notre sélection de sept minerais critiques. À l'aide de la méthode des projections locales, nous régressons, la variation de la production entre une année $t - 1$ et différents horizons allant de t à $t + 4$ sur une variable indiquant si les prix ont augmenté ou diminué entre l'année $t - 1$ et l'année t . Notre hypothèse de travail est que seuls les chocs de prix d'ampleur significative sont susceptibles d'induire des variations de la production (autrement dit, que les effets des chocs de prix sont non-linéaires). Afin de tester cette hypothèse, nous insérons les chocs de prix comme des variables muettes, valant 1 si la variation annuelle de prix dépasse un certain seuil, et zéro autrement. Afin de capturer d'éventuels effets asymétriques, nous conduisons deux régressions séparées sur la base d'une diminution des prix de plus de 8 % et d'une hausse des prix de plus de 15 %¹³. Les régressions sont menées sur l'ensemble de l'échantillon, et le choc de prix est interagi avec une variable indiquant si un pays appartient ou non au continent africain. Nous isolons les effets propres à chaque matériau, pays ou année, en incluant des effets fixes pour chacune de ces variables.

¹² Plus généralement, si la littérature relative aux effets des chocs des prix des matières premières est conséquente, les contributions isolant les effets propres aux prix des métaux demeurent rares (Banque mondiale, 2021 ; Di Pace *et al.*, 2020).

¹³ Soit, respectivement le premier et dernier quartile des variations annuelles de prix des sept minerais étudiés entre 2012 et 2022.

Graphique 5. Variation de la production à des chocs positifs et négatifs de prix



Source : USGS, calcul des auteurs.

Note : effet exprimé net d'effets fixes année, matériau et pays. Intervalle de confiance à 90 %. Dans le panel a), les chocs positifs sont des variables muettes valant 1 si les prix ont augmenté de plus de 15 % au cours de l'année en cours et 0 autrement. Dans le panel b), les chocs négatifs sont des variables muettes valant 1 si les prix ont baissé de plus de 8 %, et autrement.

Les différences de réactions de la production aux prix entre l'Afrique et les autres continents suggèrent des effets coûts plus importants en Afrique (Graphique 5).

En effet, en cas de choc positif marqué, la production tend à augmenter de façon statistiquement significative en dehors du continent africain, avec un délai de réaction maximal d'environ trois ans¹⁴, tandis que la production sur le continent africain ne semble pas réagir au choc de prix. En revanche, en cas de choc de prix négatif marqué, la production sur le continent africain diminue de façon statistiquement significative, avec un délai moyen maximal de quatre ans, tandis que la production des autres continents apparaît moins élastique au choc (absence de significativité statistique, cf. également Africa Development Forum, 2023). Ces résultats, sont encore exploratoires, notamment concernant de possibles endogénéités. En particulier, si notre définition du choc est non-linéaire, elle ne prend pas en compte le cumul des chocs ou leurs tendances au cours du temps. Bien qu'il soit préférable de calculer des chocs en écart à un niveau des prix standard – calculé, par exemple, à l'aide d'une tendance sur longue période (Cariolle et Goujon, 2016) –, notre fenêtre d'analyse est trop courte pour pouvoir calculer un tel prix. En outre, notre analyse ne tient pas compte du rôle des contraintes de capacité, qui affectent la réaction des entreprises au signal-prix, possiblement de façon non-linéaire (Boehm et Pandalai-Nayar, 2022). Nous montrons néanmoins, dans les graphiques A.5 et A.6, en annexe, que nos résultats sont robustes à des définitions alternatives des chocs. Ces résultats additionnels suggèrent en outre que, en cas de chocs de prix positif, l'écart de réaction entre les pays africains et non-africains est d'autant plus fort que le choc est important (la production dans les pays africains demeure atone dans tous les cas, mais la production dans les pays non-africains augmente plus fortement si les chocs sont importants). Dans le cas de chocs de prix négatifs, la forte réaction négative de la production en Afrique semble observée même pour des chocs de plus faible ampleur (avec une significativité des écarts avec les pays non-africains qui fluctue).

¹⁴ Ces délais de transmission reflètent l'existence de longues chaînes de décision menant à la production de minerai et des coûts importants de diminution/arrêt de la production (Fernandez, 2018). Les délais de réponse à des variations de prix réel varient également fortement selon les minerais : ils ont atteint près de huit ans pour le cuivre après le boom de 2004 (Natural Resources Governance Institute, 2022).

Dans l'ensemble, ces résultats suggèrent l'existence d'effets-coûts plus élevés en Afrique¹⁵, pouvant se traduire : i) en amont, par des risques plus élevés de repousser l'exploration ou la mise en production de réserves, de nombreux gisements demeurant sous-exploités en Afrique (Africa Development Forum, 2023) ; ou ii) en aval, par une sensibilité plus forte de la production en cas de baisse des prix. Symétriquement, une hausse des prix se traduirait également par une plus faible part d'entreprises à même d'en profiter pour augmenter leurs investissements ou leur production. La faible durée de vie apparente des gisements africains serait donc plus susceptible de refléter une sous-estimation des réserves africaines qu'une forte intensité de la production.

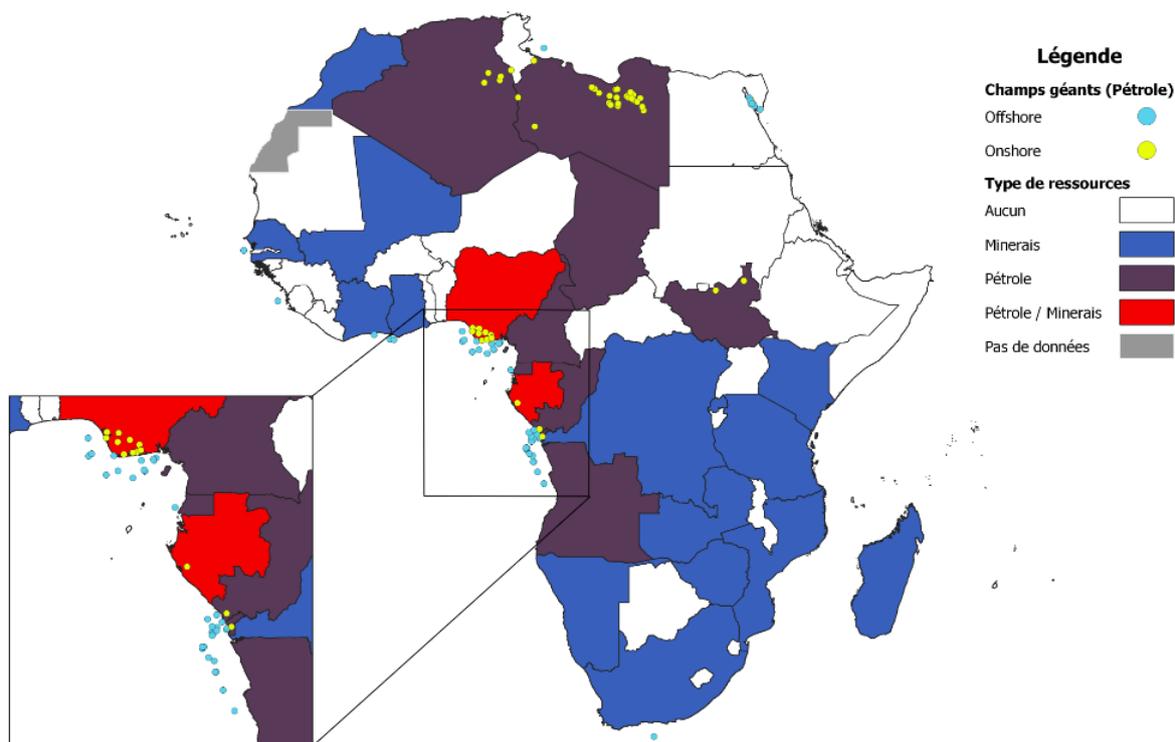
3. Les métaux critiques peuvent-ils favoriser la diversification économique et le développement durable en Afrique ?

A. La forte demande mondiale de métaux critiques anticipée pourrait concourir à des recettes importantes pour les pays producteurs en position d'y répondre.

La demande en métaux critiques devrait fortement augmenter au cours des dix à quinze prochaines années. Selon les évaluations de Miller *et al.* (2023), dans un scénario d'atteinte d'émissions nettes nulles de carbone à l'horizon 2050, la demande mondiale pourrait être multipliée par plus de cinq pour la quasi-totalité des métaux critiques à l'horizon 2025, et par plus de douze à l'horizon 2040. Dans ce contexte, il est utile de se demander si les rentes de métaux critiques essentiels à la transition énergétique pourraient constituer un substitut viable pour les économies fortement exposées au risque d'actifs échoués.

¹⁵ S'ils diffèrent des estimations avançant une plus grande rentabilité des investissements en Afrique, plusieurs facteurs sont susceptibles d'expliquer ces écarts (différences d'échantillons de métaux et de fenêtres temporelles, méthodologie d'évaluation différente).

Carte 4. Distribution des pays africains par type de ressources produites



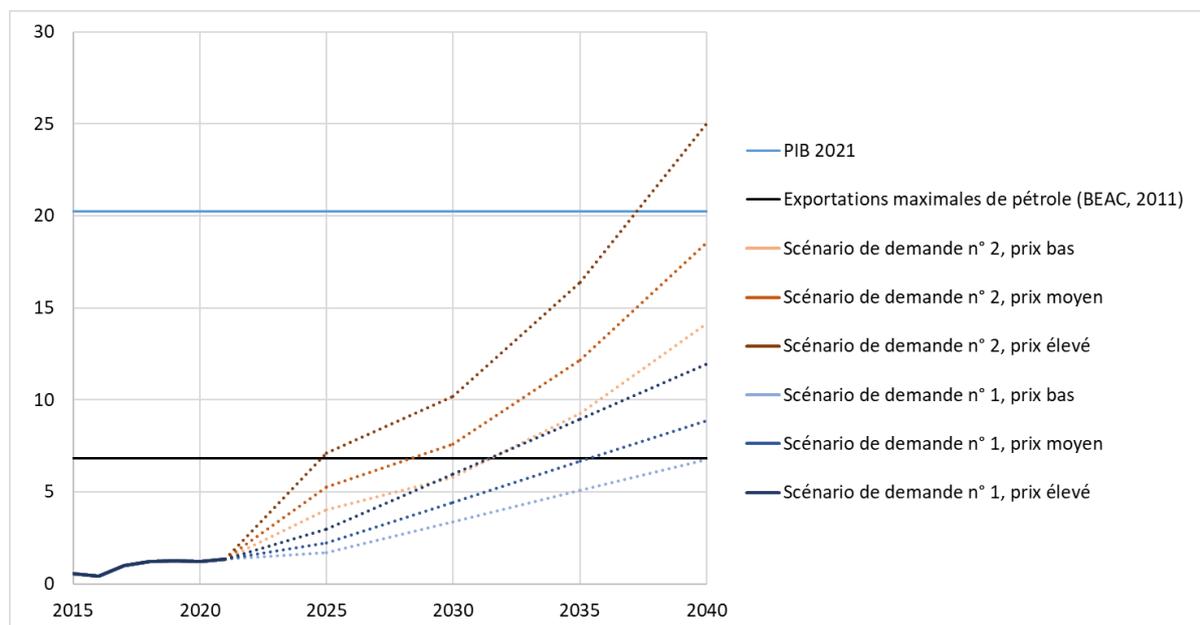
Sources : FMI, USGS, Cust *et al.* (2021).

Certaines économies africaines riches en pétrole disposent aussi de rentes importantes de minerais critiques pour la transition énergétique (Carte 4¹⁶). Deux pays apparaissent à la fois comme exportateurs nets de pétrole et producteurs de minerais critiques, à savoir le Nigéria (étain) et le Gabon (manganèse). En outre, au sein de ces pays, la localisation des champs de pétrole et des minerais suggère une différenciation spatiale entre les ressources pétrolières (plutôt situées au large des côtes), et les ressources minières (situées dans les terres), avec potentiellement de grandes différences de coût d'exploitation, d'enclavement et de développement régional.

Nous évaluons les retombées économiques à attendre de l'exploitation des minerais critiques à la transition énergétique en nous concentrant sur le Gabon. Depuis la crise pétrolière de 2015-2016, les exportations pétrolières du Gabon stagnent et atteignent environ 9 millions de tonnes en volume et entre 3 et 5 milliards de dollars US en valeur (soit environ 30 % du PIB courant), des montants inférieurs à ceux observés à la fin des années 1990 (environ 15 millions de tonnes), ou à la première moitié des années 2010 (environ 11 millions de tonnes). La valeur maximale des exportations a été atteinte en 2011 (6,8 milliards de dollars US) reflétant à la fois un niveau élevé de production et un cours élevé du pétrole. Après avoir oscillé entre 1 et 4 millions de tonnes jusqu'au milieu des années 2010, les exportations de manganèse ont, quant à elles, fortement augmenté à partir de 2017 pour atteindre près de 10 millions de tonnes. Les valeurs associées sont toutefois bien inférieures à celles des exportations de pétrole (elles ont atteint un maximum de 1,3 milliard de dollars US en 2021).

¹⁶ Cette carte ne prend pas en compte les risques d'actifs échoués liés au secteur gazier.

Graphique 6. Scénarios d'exportations de manganèse du Gabon
(en milliards de dollars US courants)



Sources : BEAC, Banque Mondiale, BACI, calcul des auteurs.

L'impact du développement du marché du manganèse sur l'activité économique dépendra des effets d'accélération de la demande de manganèse liés à la transition énergétique. Compte tenu de la forte incertitude sur ces effets d'accélération, nous retenons deux scénarios de croissance de la demande. Dans le premier, la croissance de la demande suit la tendance actuelle, sans effet d'accélération. Dans le second, nous supposons que la hausse de la demande adressée au Gabon sera proportionnelle à celle de la demande mondiale dans un scénario d'atteinte de la neutralité carbone à l'horizon 2050 (sur la base des ordres de grandeur multiplicatifs établis par Miller *et al.* (2023)). Ces deux scénarios impliquent des progressions de la demande mondiale différentes (multiplication par 6,5 d'ici 2040 par rapport à 2021 dans le premier scénario, et par 12 dans le second), et leur plausibilité dépend vraisemblablement de la crédibilité des estimations de réserves¹⁷, qui conditionnent la capacité d'adaptation de l'offre à l'augmentation de la demande. S'agissant des prix, nous établissons trois hypothèses d'évolution, correspondant i) au minimum des prix observés entre 2014 et 2021 (prix bas), ii) à la moyenne des prix observés sur cette période (prix moyen), iii) et au maximum des prix observés sur cette période (prix élevé)¹⁸. À titre d'illustration, nous comparons chacun de ces scénarios à la valeur maximale des exportations de pétrole observée historiquement (6,8 milliards de dollars US en 2011), et au PIB en dollars courants de l'année 2021 (20,2 milliards de dollars US).

¹⁷ Ces dernières étaient, selon l'USGS 13 fois supérieures à la production annuelle en 2022, un chiffre qui peut paraître faible au regard des scénarios proposés, et à interpréter avec prudence. Selon ces données, le Gabon représente 2 % des réserves mondiales, alors que selon d'autres estimations, la seule mine de Moanda représenterait 25 % des réserves mondiales (source : <https://www.jeuneafrique.com/1449784/economie-entreprises/pour-lapres-petrole-le-gabon-mise-sur-ses-mines/>).

¹⁸ Les prix étudiés correspondent ici à la valeur des exportations selon BACI, divisée par le volume des exportations donné par la BEAC. Ces hypothèses de prix n'incluent pas d'effets sur les prix à l'exportation des projections d'accélération de la demande ou l'effet du retraitement sur place du manganèse recherché par le Gabon.

Si les exportations de manganèse du Gabon continuaient de suivre la tendance observée depuis 2016, les recettes engendrées pourraient atteindre le niveau maximal de recettes d'exportations pétrolières observées d'ici 2030 à 2040 (Graphique 6). Dans un scénario d'exportations plus dynamique¹⁹, où le Gabon suivrait instantanément la demande mondiale anticipée pour la transition énergétique, les recettes de manganèse pourraient dépasser les recettes maximales observées de pétrole entre 2025 et 2030. Dans un tel scénario, elles pourraient atteindre des montants équivalents au PIB actuel du Gabon peu après 2035 (sous réserve que les prix correspondent au maximum des prix observés sur la période 2014-2021, cf. scénario de demande n° 2, prix élevé)²⁰. Ces scénarios font apparaître de nombreux sentiers possibles de développement sectoriel. Les promesses de développement des métaux critiques, et de croissance économique pour les pays riches en ressources, dépendront de la concrétisation effective des projections de demande (et de prix) à moyen et long terme – qui dépendent pour partie des sentiers d'innovation technologique à venir, mais aussi de la diversification des utilisations de ces métaux, qui est encore loin d'atteindre celle des produits dérivés des hydrocarbures.

B. Les métaux critiques : une source de développement durable ?

Au-delà des exportations et des recettes associées ou de la compensation du déclin anticipé du secteur des hydrocarbures, la production des métaux peut participer à une création durable de richesse en contribuant au développement de filières industrielles locales, notamment celle des énergies renouvelables. Une telle diversification économique ne semble possible que sous certaines conditions.

Comme dans le cas des hydrocarbures, la première condition a trait aux politiques publiques à mettre en œuvre pour faire face aux risques de « malédiction des ressources naturelles ». Outre les risques déjà soulignés d'instabilité politique et de conflits liés à l'appropriation de la rente, le développement des matériaux critiques, comme dans le cas des hydrocarbures, peut se traduire par une croissance, et un niveau d'investissement, plus faible, notamment en Afrique, seul continent ayant fait face à une perte nette de capital liée à la consommation et à la dépréciation de son capital naturel, en particulier minéral (Banque mondiale, 2021). Face à ces risques, une amélioration du climat des affaires, la promotion de cadres réglementaires stables (notamment des codes miniers appliqués de manière uniforme) et une meilleure transparence et gouvernance du secteur minier lui-même, notamment à travers les initiatives de coordination internationales (Initiative pour la transparence dans les industries extractives – EITI, Charte des ressources naturelles), constituent des points décisifs pour accroître l'attractivité des pays africains (Mejia et Aliakbari, 2023).

La qualité de la gestion des finances publiques constitue un enjeu important pour assurer une affectation optimale des ressources minières à des fins de développement durable. La qualité des politiques macroéconomiques (règles budgétaires, stratégies d'investissement des revenus tirés des ressources dans le capital humain ou dans les infrastructures productives hors-ressources, etc.) constitue un enjeu central pour une exploitation durable des métaux critiques, comme dans le cas des autres activités extractives (Jacolin et Vertier, 2022). Au-delà des objectifs de mobilisation des recettes fiscales et parafiscales associés au partage de la rente en phase d'exploitation, le

¹⁹ Ce scénario est toutefois moins probable au vu des dynamiques passées et de la durée du cycle de production

²⁰ Un autre exercice utile serait d'estimer l'impact des hausses projetées de la production de manganèse sur les ressources budgétaires mais les données sur les recettes budgétaires issues du manganèse sont pour l'heure indisponibles. À titre indicatif, en 2022, les ressources budgétaires pétrolières correspondaient à environ 25 % des exportations de pétrole (en valeur).

développement des matériaux critiques implique en amont la mise en place de politiques publiques permettant d'évaluer et limiter les coûts collectifs engendrés par l'exploitation de ces matériaux (accroissement des stress hydriques, pollution, impact sur la santé, captations de terres arables) notamment par des études d'impact environnemental et par l'inclusion de clauses environnementales dans les financements et les contrats avec les sociétés minières. Les choix de politique financière des États doivent également prendre en compte les risques d'anticipations excessives de développement des métaux rares. Ceux-ci peuvent conduire à un endettement excessif et coûteux, à des taux non concessionnels sur les marchés euro-obligataires ou collatéralisés par du minerai auprès des sociétés minières et de négoce.

La dernière condition concerne la capacité des États africains à désenclaver le secteur minier, à des fins de croissance inclusive, en capturant une part plus importante de la valeur ajoutée des matériaux critiques dans les chaînes de valeur globales. Cela est notamment nécessaire dans la mesure où le contenu en emplois de l'exploitation des métaux critiques baisse et l'intensité capitalistique s'accroît avec la mécanisation et la numérisation (Baskaran, 2022). Dans certains pays, ce désenclavement peut inclure des objectifs de traitement sur place des minéraux bruts. Ainsi, au Gabon, la loi minière (article 148) oblige les sociétés extractives à transformer localement, en partie ou en totalité, les minerais qu'elles extraient. Cela passe également par le développement local des énergies renouvelables, dont la complexité et les coûts de développement peuvent impliquer une coopération régionale, comme dans le cas du lithium (Goodenough *et al.*, 2021). Ce nexus entre secteur minier et développement local des énergies renouvelables apparaît crucial pour l'Afrique. Cette dernière supporte un coût élevé des émissions de gaz à effet de serre (GES) engendrées par le secteur minier alors que les gains associés profitent à ce stade principalement aux pays développés et émergents. À moyen et long terme, ce développement conjoint semble aussi indispensable pour limiter la dynamique prévisible des émissions de GES du continent, résultant tant de sa pression démographique que d'une élévation légitime du niveau de vie des populations africaines.

Références

Africa Development Forum (2023) *Africa's Resources Future, Harnessing Natural Resources for Economic Transformation during the Low-Carbon Transition*, Cust J. and Zufack A. (eds), Agence française de développement & World Bank Group, 200 p.

Alesina A., Easterly W., Matuszeski J. (2011) "Artificial states", *Journal of the European Economic Association*, vol. 9 (issue 2), pp. 246-277.

Arezki R., Ramey V. A., Sheng L. (2017) "News shocks in open economies: Evidence from giant oil discoveries", *The Quarterly Journal of Economics*, vol. 132 (issue 1), pp. 103-155.

Armah M. K. (2016) "Infrastructure and foreign direct investment inflows: evidence from Ghana", *Journal of Emerging Trends in Economics and Management Sciences*, vol. 7 (issue 1), pp. 57-66.

Banque mondiale (2017) *The Growing Role of Minerals and Metals for a Low Carbon Future*, World Bank, Washington DC, 112 p.

Banque mondiale (2020) *Minerals for Climate Action: The Mineral Intensity of the Clean Energy Transition*, World Bank, Washington DC, 112 p.

Banque mondiale (2021) *The Changing Wealth of Nations 2021: managing assets for the future*, World Bank, Washington DC, 504 p.

Banque mondiale (2021) "Causes and consequences of metal price shocks", *Commodity Markets Outlook*, Special Focus, April 2021.

Baskaran G. (2021) "Firms' approach to mitigating risks in the platinum group metals sector", *Mineral Economics*, vol. 34 (issue 3), pp. 385-398.

Berman N., Couttenier M., Rohner D., Thoenig M. (2017) "This mine is mine! How minerals fuel conflicts in Africa", *American Economic Review*, vol. 107 (issue 6), pp. 1564-1610.

Boehm C. E., Pandalai-Nayar N. (2022) "Convex supply curves", *American Economic Review*, vol. 112 (issue 12), pp. 3941-3969.

Boer L., Pescatori A., Stuermer M. (2023) "Energy transition metals: bottleneck for net-zero emissions?", *Journal of the European Economic Association*, vol. 22 (issue 1), pp. 200-229, jvad039.

Cariolle J., Goujon M. (2015) "Measuring macroeconomic instability: A critical survey illustrated with exports series", *Journal of economic surveys*, vol. 29 (issue 1), pp. 1-26.

Cattaneo M. D., Jansson M., Ma X. (2018) "Manipulation testing based on density discontinuity", *The Stata Journal*, vol. 18 (issue 1), pp. 234-261.

Cherif R., Matsumoto A. (2021) "Sub-Saharan African Oil Exporters: the future of oil and the imperative of diversification", IMF African Department, Special Series on Covid-19.

Cust J., Harding T. (2020) "Institutions and the location of oil exploration", *Journal of the European Economic Association*, vol. 18 (issue 3), pp. 1321-1350.

Cust J., Mihalyi D., Rivera-Ballesteros A. (2021) "Giant oil and gas field discoveries 2018", *Harvard Dataverse*, v1.

Di Pace F., Juvenal L., Petrella I. (2020) "Terms-of-trade shocks are not all alike", IMF Working Paper WP/20/280.

Diene P. D., Manley D., Olan'g S., Scurfield T. (2022) "Triple win, how mining can benefit Africa's citizens, their environment and the energy transition", Natural Resource Governance Institute Report, November.

Donaldson D. (2018) "Railroads of the Raj: Estimating the impact of transportation infrastructure," *American Economic Review*, vol. 108 (issues 4-5), pp. 899-934.

Ericsson M., Löf O., Löf A. (2020) "Chinese control over African and global mining-past, present and future", *Mineral Economics*, vol. 33 (issue 1), pp. 153-181.

Espagne E., Lapeyronie H. (2023) "Energy transition minerals and the SDGs. A systematic review", Agence Française de Développement, Research Paper n° 268, January.

Fernandez V. (2019) "Assessing cycles of mine production and prices of industrial metals," *Resources Policy*, vol. 63 (issue C).

Fiorini M., Sanfilippo M., Sundaram A. (2021) "Trade liberalization, roads and firm productivity", *Journal of Development Economics*, vol. 153 (issue C).

Fontagné L., Lebrand M. S. M., Murray S., Santoni G., Ruta, M. (2023) "Trade and Infrastructure Integration in Africa", World Bank Group, Policy Research Working Paper 10609.

Gardes-Landolfini C., Grippa P., Oman W., Yu S. (2023) "Energy Transition and Geoeconomic Fragmentation: Implications for Climate Scenario Design", IMF Staff Climate Notes 2023/003.

Gittard M., Hu I. (2022) "MiningLeaks: Water Pollution and Child Mortality in Africa", Job Market Paper.

Goldblatt R., Xie V. W., You W. (2023) "Investor Origin and Deforestation: Evidence from Global Mining Sites", *SSRN Electronic Journal* 2023.

Goodenough K., Deady E., Shaw R. (2021) "Lithium resources, and their potential to support battery supply chains, in Africa", *British Geological Survey*.

Graff T. (2019) "Spatial inefficiencies in Africa's trade network", National Bureau of Economic Research Working Paper n° 25951, June.

Harding T., Stefanski R., Toews G. (2020) "Boom goes the price: Giant resource discoveries and real exchange rate appreciation", *The Economic Journal*, vol. 130 (issue 630), pp. 1715-1728.

Jacolin L., Vertier P. (2022) "Ressources naturelles, inégalités et politique budgétaires dans les pays émergents et en développement", *CMAF Report*, chap. 2, pp. 41-48.

Khan T. S., Nguyen T. T. T., Schodde R., Ohnsorge F. (2016) "From commodity discovery to production", World Bank Policy Research Working Paper n° 7823.

Knutsen C. H., Kotsadam A., Olsen E. H., Wig T. (2017) "Mining and local corruption in Africa", *American Journal of Political Science*, vol. 61 (issue 2), pp. 320-334.

Le Goff M., Vertier P. (2023) "La question énergétique au centre du modèle économique sud-africain", *Macro Dev*, vol. 47.

Leke A., Gaius-Obaseki P., Onyekweli O. (2022) "The future of African oil and gas: positioning for the energy transition", *McKinsey & Company*, June 8.

Maus V., Giljum S., da Silva D. M., Gutschlhofer J., da Rosa R.P., Luckeneder S., Gass S. L. B., Lieber M., McCallum I. (2022) "An update on global mining land use", *Scientific data*, vol. 9 (issue 1), pp. 1-11.

Maus V., Werner T.T. (2024) "Impacts for half of the world's mining areas are undocumented", *Nature*, vol. 625, pp. 26-29.

McQuilken J., Perks R. (eds) (2020) *2020 State of the Artisanal and Small-Scale Mining Sector*, World Bank, Washington DC, 158 p.

Mejia J., Aliakbari E. (2023) *Fraser Institute Annual Survey of Mining Companies 2023*, Fraser Institute, Vancouver, 80 p.

Merem E. C., Twumasi Y., Wesley J., Isokpehi P., Shenge M., Fageir S., Nwagboso E. (2017) "Assessing the ecological effects of mining in West Africa: The case of Nigeria", *International Journal of Mining Engineering and Mineral Processing*, vol. 6 (issue 1), pp. 1-19.

Michalopoulos S., Papaioannou E. (2014) "National institutions and subnational development in Africa", *The Quarterly journal of economics*, vol. 129 (issue 1), pp. 151-213.

Michalopoulos S., Papaioannou E. (2016) "The long-run effects of the scramble for Africa", *American Economic Review*, vol. 106 (issue 7), pp.1802-1848.

Mihalyi D., Scurfield T. (2021) "How Africa's prospective petroleum producers fell victim to the resource curse", *The Extractive Industries and Society*, vol. 8 (issue 1), pp. 220-232, March.

Miller H., Dikau S., Svartzman R., Dees S. (2023) "Critical transition materials, financial risks and NGFS climate scenarios", Banque de France Working Paper n°907, February.

Mlachila M., Ouedraogo R. (2017) "Financial resource curse in resource-rich countries", IMF Working Papers n° 2017/163, July.

Moyo T., Chitaka T. Y., Lotter A., Schenck C. J., Petersen J. (2022) "Urban mining versus Artisanal and Small-Scale Mining (ASM): An interrogation of their contribution to sustainable livelihoods in sub-Saharan Africa", *The Extractive Industries and Society*, vol. 12, 101173.

Pattanayak S., Verdugo-Yepes C. (2020) "Protecting public infrastructure from vulnerabilities to corruption: a risk-based approach", in: Fouad M., Hansen T. S., Schwartz G., Verdier G. (eds), *Well Spent: How Strong Infrastructure Governance Can End Waste in Public Investment*, International Monetary Fund, chap. 10, pp. 175-200.

Schacherer S., Kang D. (2021) "Going for gold: the law and politics of environmental impact assessments in African mining investments", in: Rouche I., *Africa and International Environmental Law*, Pedone.

Schodde R. (2014) "Key issues affecting the time delay between discovery and development – Is it getting harder and longer?", presentation to the PDAC, Toronto, March 3.

Schodde R. (2018) "Trends in Exploration", presentation at IMARC conference, Melbourne, MinEx Consulting, October 30.

S&P Global – Ferguson M., Murphy K. (2022a) "World Exploration Trends 2022", *S&P Global*, Blog, June 26.

S&P Global (2022b) "Africa mining by the numbers", *S&P Global*, Blog, December 16.

United Nations Conference on Trade and Development (UNCTAD) (2023) *Economic Development in Africa Report 2023*.

Von der Goltz J., Barnwal P. (2019) "Mining: The local wealth and health effects of mineral mining in developing countries", *Journal of Development Economics*, vol. 139, pp. 1-16.

Zhang K. H. (2021) "How does South-South FDI affect host economies? Evidence from China-Africa in 2003-2018", *International Review of Economics & Finance*, vol. 75, pp. 690-703.

Annexes

Tableau A.1 - Les métaux critiques en Afrique

Minerais	Part des pays africains, production 2022 (en %) ^{a)}	Pays producteurs en Afrique (2012-2022)
Tantale	72,8	Burundi, Éthiopie, Mozambique, Nigéria, Ouganda, République démocratique du Congo (RDC), Rwanda,
Cobalt	72,1	Afrique du Sud, Madagascar, Maroc, RDC, Zambie
Manganèse	65,5	Afrique du Sud, Côte d'Ivoire, Gabon, Ghana
Chrome	43,9	Afrique du Sud
Hafnium	35,0	Afrique du Sud, Mozambique, Sénégal,
Titane (Ilmenite)	34,8	Afrique du Sud, Kenya, Madagascar, Mozambique, Sénégal
Graphite	22,1	Madagascar, Mozambique, Namibie, Tanzanie, Zimbabwe
Cuivre	13,5	RDC, Zambie
Vanadium	9,1	Afrique du Sud
Étain	7,7	Nigéria, RDC, Rwanda
Lithium	5,0	Ghana, Mali, Namibie, RDC, Zimbabwe,
Tungstène	1,3	Rwanda
Éléments de Terres Rares (ETR)	1,3	Afrique du Sud, Burundi (nd), Madagascar (nd), Tanzanie
Niobium	1,0	RDC, Rwanda
Tellure	0,6	Afrique du Sud
Aluminium	0	
Plomb	0	
Silicone	0	
Magnésium	0	
Molybdène	0	
Nickel	0	
Indium	0	
Zinc	0	
Cadmium	0	
Gallium	0	
Argent	0	
Néodyme	nd	nd

a) Données de production sauf pour ETR (réserves) et lithium (ressources) pour lesquels ces données sont mieux documentées.

En bleu : les 10 biens avec le plus de pressions sur la demande selon Miller *et al.* (2023).

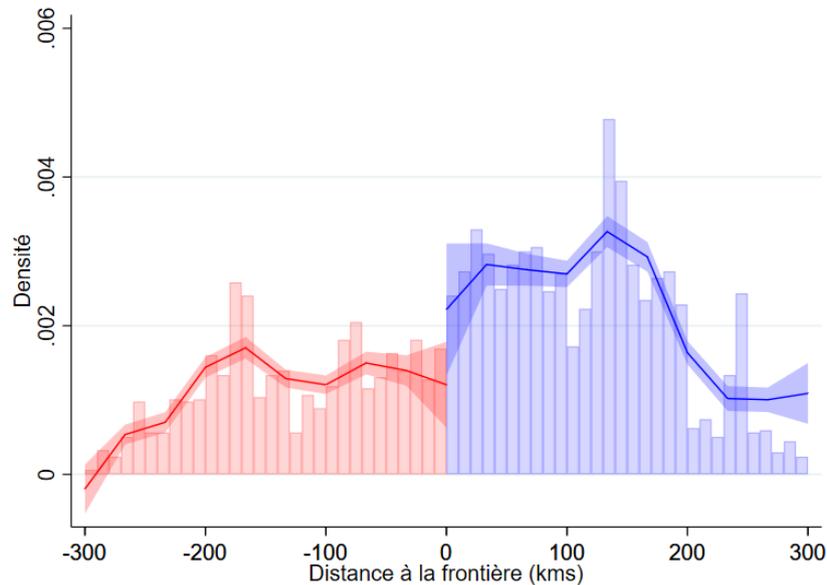
En gras : les 7 métaux retenus.

nd : données non disponibles.

Source : USGS.

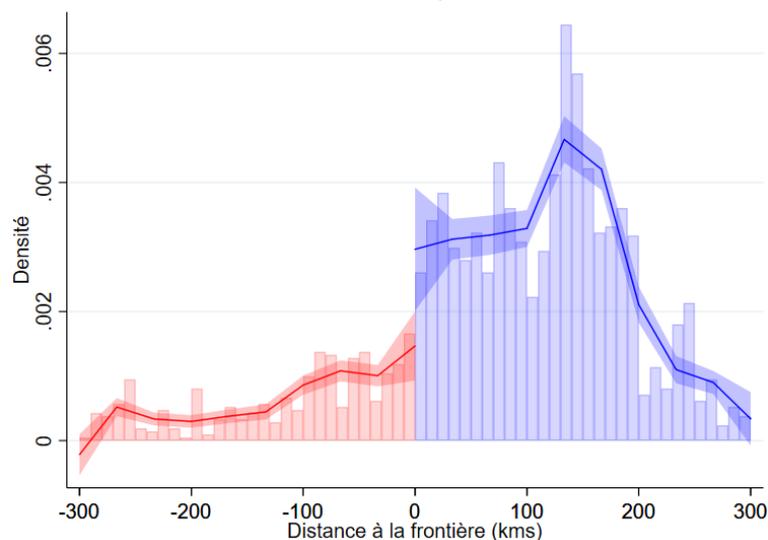
Résultats annexes relatifs aux discontinuités aux frontières

Graphique A.1 - Différence de densité des mines autour des frontières en 2019 – Spécification alternative 1



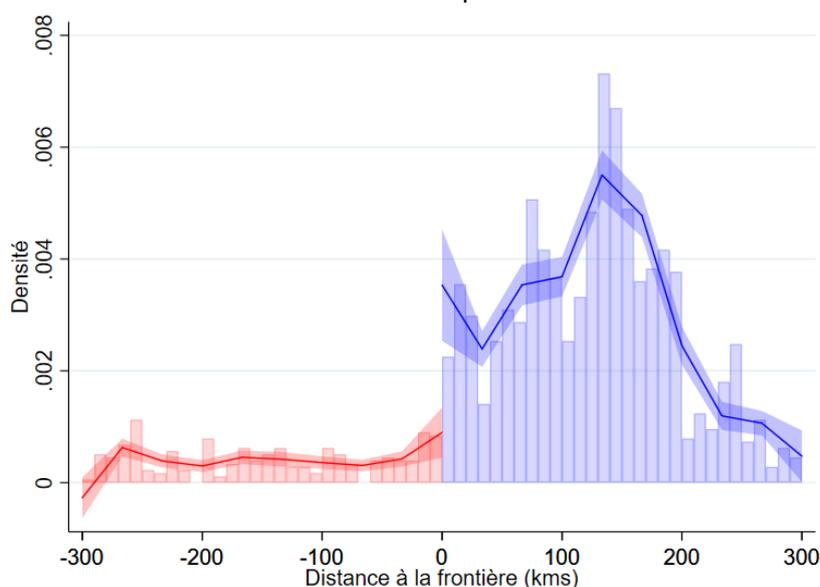
Note : Rupture de densité à la frontière par paire de pays (au sein de chaque paire, le pays avec un meilleur score Polity est à droite de 0, et le pays avec un moins bon score Polity est à gauche de 0). Intervalle de confiance à 95 %. Estimation selon la méthode de Cattaneo, Jansson and Ma (2018), avec un polynôme de degré 4. Le score Polity est calculé entre 1965 et 1995. Les paires de pays concernés ont au moins un écart de score Polity de 2. Les données sont agrégées par intervalles de 10 km.

Graphique A.2 - Différence de densité des mines autour des frontières en 2019 – Spécification alternative 2



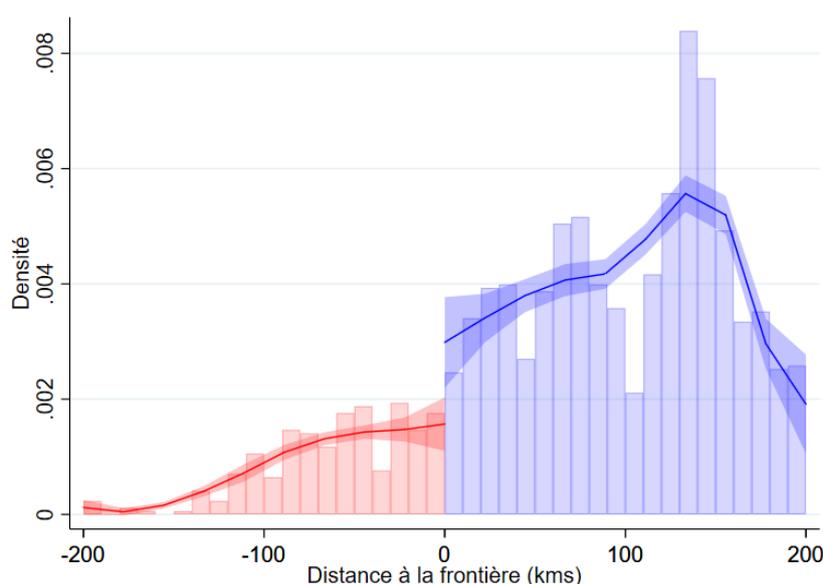
Note : Rupture de densité à la frontière par paire de pays (au sein de chaque paire, le pays avec un meilleur score Polity est à droite de 0, et le pays avec un moins bon score Polity est à gauche de 0). Intervalle de confiance à 95 %. Estimation selon la méthode de Cattaneo, Jansson and Ma (2018), avec un polynôme de degré 3. Le score Polity est calculé entre 1965 et 1995. Les paires de pays concernés ont au moins un écart de score Polity de 3. Les données sont agrégées par intervalles de 10 km.

Graphique A.3 - Différence de densité des mines
autour des frontières en 2019 – Spécification alternative 3



Note : Rupture de densité à la frontière par paire de pays (au sein de chaque paire, le pays avec un meilleur score Polity est à droite de 0, et le pays avec un moins bon score Polity est à gauche de 0). Intervalle de confiance à 95 %. Estimation selon la méthode de Cattaneo, Jansson and Ma (2018), avec un polynôme de degré 3. Le score Polity est calculé entre 1965 et 1995. Les paires de pays concernés ont au moins un écart de score Polity de 4. Les données sont agrégées par intervalles de 10 km.
Source : Maus *et al.* (2022), calcul des auteurs.

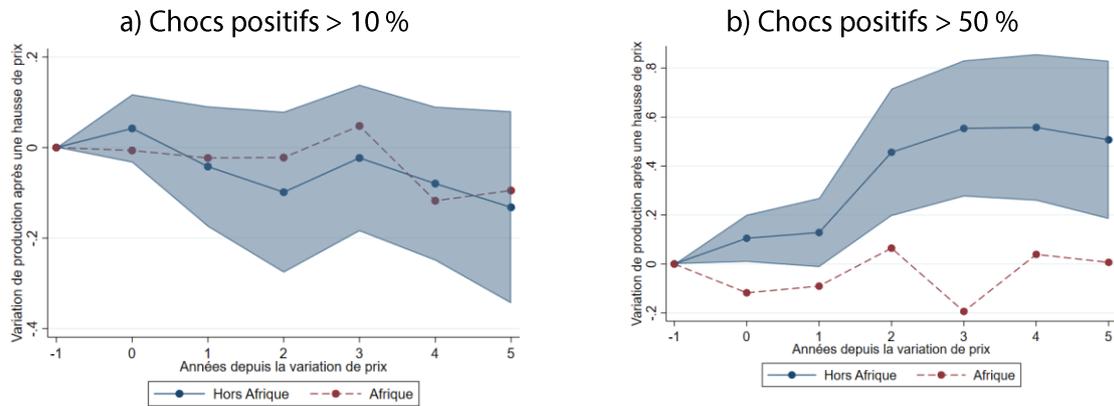
Graphique A.4 - Différence de densité des mines
autour des frontières en 2019 – Spécification alternative 4



Note : Rupture de densité à la frontière par paire de pays (au sein de chaque paire, le pays avec un meilleur score Polity est à droite de 0, et le pays avec un moins bon score Polity est à gauche de 0). Intervalle de confiance à 95 %. Estimation selon la méthode de Cattaneo, Jansson and Ma (2018), avec un polynôme de degré 2. Le score Polity est calculé entre 1965 et 1975. Les paires de pays concernés ont au moins un écart de score Polity de 3. Les données sont agrégées par intervalles de 10 km.

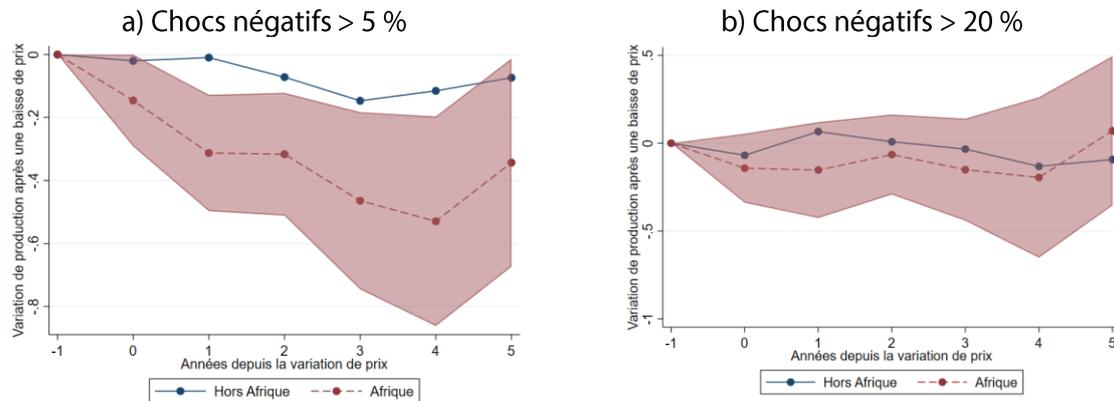
Résultats annexes relatifs aux réactions de la production aux prix

Graphique A.5. Variation de la production à des chocs positifs de prix, pour différents seuils de chocs



Note : effet exprimé net d'effets fixes année, matériau et pays. Intervalle de confiance à 90 %. Dans le panel a), les chocs positifs sont des variables muettes valant 1 si les prix ont augmenté de plus de 10 % au cours de l'année en cours (correspondant premier quartile de chocs positifs) et 0 autrement. Dans le panel b), le seuil définissant un choc est fixé à 50 % (troisième quartile des chocs positifs).

Graphique A.6. Variation de la production à des chocs négatifs de prix, pour différents seuils de chocs



Note : effet exprimé net d'effets fixes année, matériau et pays. Intervalle de confiance à 90 %. Dans le panel a), les chocs négatifs sont des variables muettes valant 1 si les prix ont baissé de plus de 5 % au cours de l'année en cours (correspondant premier quartile de chocs négatifs) et 0 autrement. Dans le panel b), le seuil définissant un choc est fixé à 20 % (troisième quartile des chocs négatifs).

“ Sur quoi la fondera-t-il l'économie du monde qu'il veut gouverner ? Sera-ce sur le caprice de chaque particulier ? Quelle confusion ! Sera-ce sur la justice ? Il l'ignore. ”

Pascal

FERDi

Créée en 2003, la **Fondation pour les études et recherches sur le développement international** vise à favoriser la compréhension du développement économique international et des politiques qui l'influencent.



Contact

www.ferdi.fr

contact@ferdi.fr

+33 (0)4 43 97 64 60