

## Vie de la recherche – Research news

# Les mines : enjeu de la transition écologique ? Un colloque au centre à Paris de l'Université de Chicago

José Halloy<sup>1</sup>  et Florian Vidal<sup>2,\*</sup> 

<sup>1</sup> Physique, Université Paris Cité, UMR LIED, Paris, France

<sup>2</sup> Science politique, Université Paris Cité, UMR LIED, Paris, France

**Résumé** – Le colloque « Les mines : enjeu de la transition écologique ? » a été organisé par José Halloy et Florian Vidal, le 23 septembre 2021 au centre à Paris de l'Université de Chicago. L'objectif de cette demi-journée de discussions était d'initier une première rencontre interdisciplinaire sur la problématique minière à l'aune de la transition écologique et des changements globaux. Dans ce contexte, le débat autour des activités minières ouvre frontalement la question des ressources et du modèle sociotechnique de nos sociétés dans l'Anthropocène. C'est aussi le moment de réfléchir aux conditions de la recherche interdisciplinaire en France. Nous présentons dans ce compte rendu le contexte scientifique qui a stimulé ce colloque, l'apport des différentes interventions et les suites à donner à ces échanges.

**Mots clés** : activités minières / transition écologique / soutenabilité / interdisciplinarité / ressources / Anthropocène

**Abstract – Mining: challenges to the ecological transition? A symposium at the University of Chicago Center in Paris.** On September 23, 2021, a symposium entitled “Mining: challenge to the ecological transition?” organized by José Halloy and Florian Vidal was held at the University of Chicago Center in Paris. The purpose of this half-day discussion was to launch an initial interdisciplinary meeting on the issue of mining in the light of the ecological transition and of global changes. In this context, the debate around mining activities opens the question of resources and of the socio-technical model of our societies in the Anthropocene. Also, it affords time to reflect on the conditions of interdisciplinary research in France. In this report, we introduce the scientific background that prompted this symposium, the contribution of different interventions, and the perspectives and follow-up generated by these exchanges.

**Keywords:** mining activities / ecological transition / sustainability / interdisciplinarity / resources / Anthropocene

Le séminaire « Les mines : enjeu de la transition écologique<sup>1</sup> ? », organisé par José Halloy et Florian Vidal, a eu lieu, le 23 septembre 2021, au centre à Paris de l'Université de Chicago sous l'égide du laboratoire interdisciplinaire des énergies de demain (LIED, UMR 8236, CNRS, Université Paris Cité). Cette rencontre scientifique a initié une réflexion interdisciplinaire sur les enjeux miniers dans le contexte des

changements planétaires et de la transition écologique des sociétés industrielles. À la lumière de ces derniers, l'accès aux ressources minérales revêt une véritable complexité, croisant les dimensions énergétiques, techniques, géopolitiques et économiques. D'une part, l'objectif de ce colloque était d'amorcer et de nourrir un dialogue ouvert et franc entre les sciences et les techniques (S&T) et les sciences humaines et sociales (SHS). En effet, les recherches liées aux activités minières s'entrecroisent dans les différents champs disciplinaires comme la physique, la géologie, le droit, les sciences politiques, l'économie ou la géographie. D'autre part, au-delà des questions de recherche scientifique, l'exploitation minière résulte des besoins industriels, des modèles socioéconomiques et des

\*Auteur correspondant : [florian.f.vidal@uit.no](mailto:florian.f.vidal@uit.no)

<sup>1</sup> Le colloque est en ligne sur la chaîne YouTube du centre à Paris de l'Université de Chicago : <https://www.youtube.com/watch?v=Bnp8QYQxrmI&t=10283s>. Le programme est disponible à cette adresse : <https://centerinparis.uchicago.edu/events/les-mines>.

injonctions politiques et géopolitiques. À l'aune de l'Anthropocène, les problématiques liées à l'industrie minière entrecroisent des considérations contradictoires entre des contraintes écologiques, des besoins industriels nouveaux pour la transition énergétique et les industries existantes. Les mines sont considérées comme nécessaires d'un point de vue écologique pour réaliser une transition vers des énergies renouvelables qui accroît la demande en matériaux. Paradoxalement, l'industrie minière est elle-même source de nombreux problèmes écologiques. Ce champ d'injonctions contradictoires révèle les décalages qui persistent entre les approches des S&T et celles des SHS.

Nous présentons, dans un premier temps, le cadre scientifique et institutionnel qui a stimulé l'organisation de ce colloque. Dans un deuxième temps, nous synthétisons chacune des interventions. Enfin, dans un troisième temps, nous tirons les principaux enseignements pour donner une suite à cette initiative.

## Les enjeux autour de la mine : un décalage scientifique et institutionnel

En septembre 2020, la Commission européenne délivre une communication intitulée « Résilience des matières premières critiques : la voie à suivre pour un renforcement de la sécurité et de la durabilité » qui pointe que « l'accès aux ressources constitue une question de sécurité stratégique » pour l'Europe et sa politique industrielle (Commission européenne, 2020). En France, la remise au ministère de la Transition écologique du rapport Varin sur la sécurisation de l'approvisionnement en matières premières minérales, en janvier 2022, rappelle la nécessité de consolider la résilience des chaînes de valeur (Ministère de la Transition écologique et de la Cohésion des territoires, 2022a). Depuis plusieurs années, les politiques publiques nationales et européennes font état d'un positionnement très affaibli du continent dans le domaine. Cette situation invite à reconsidérer l'approche des politiques des sous-sols et de la gestion des flux dans l'optique d'une compétition géoéconomique plus féroce pour sécuriser ses approvisionnements et protéger les segments industriels attenants<sup>2</sup>.

Partant du besoin croissant de ressources minérales pour mener la transition écologique, une réflexion scientifique est en cours quant à l'adéquation entre la trajectoire sociotechnique de nos sociétés et celle d'une planète en proie à de profondes transformations (Brovkin

*et al.*, 2021 ; Hughes *et al.*, 2013 ; Rocha *et al.*, 2018 ; Turner *et al.*, 2020). Le changement de paradigme du modèle sociotechnique pour mener la décarbonation de nos sociétés induit une transformation du système énergétique. À l'inverse, l'hypothèse d'un retour d'une politique minière à une échelle massive sur le continent européen pose des défis majeurs pour la transition écologique : gestion durable des ressources, création d'une filière industrielle complète, limitation des dégradations des écosystèmes et inclusion des communautés locales. Les choix opérés par nos sociétés sont déterminants puisqu'ils engagent la trajectoire des sociétés à long terme alors qu'il s'agit de gérer, dans le même temps, la dépendance au sentier (*path dependency*) d'un modèle sociotechnique toujours à l'œuvre (Aubertin *et al.*, 2021 ; Barnes *et al.*, 2016 ; Berkhout, 2002 ; Liebowitz et Margolis, 1995).

Tous ces éléments invitent à une redéfinition des dispositifs de la recherche scientifique relative aux activités minières. Longtemps, les théories extractivistes et néoextractivistes, en particulier en Amérique latine, ont nourri le questionnement autour des mines et de leurs implications socioéconomiques (Burchardt et Dietz, 2014 ; Martín, 2017). Si l'Anthropocène redessine les contours paradigmatiques des rapports entre l'humain et la nature, l'approche interdisciplinaire invite au dépassement et à la refondation ontologique et épistémologique des questionnements et des méthodologies. La recherche de l'interdisciplinarité fait face à de nombreux défis qu'ils soient de nature scientifique ou institutionnelle (Billaud, 2003 ; Fresneau et Gautier, 2020 ; Laflamme, 2011). L'objet de ce colloque était d'ouvrir un début de réflexion sur ces enjeux.

## Un colloque interdisciplinaire réflexif sur les défis contemporains

Cette rencontre a réuni plus d'une dizaine de chercheurs et a été organisée en quatre séquences pour mener à bien ce dialogue interdisciplinaire. La première séquence était un propos liminaire intitulé « Contraintes et *path dependency* dans l'histoire minière de l'Europe (XII<sup>e</sup>–XVIII<sup>e</sup> siècles) », présenté par Mathieu Arnoux (histoire, Université de Paris), directeur du LIED. Ce dernier a rappelé tout d'abord que les minerais sont exploités depuis plus de 2 000 ans sur le continent européen, à l'image de la mine de Las Médulas en Espagne, le plus grand gisement d'or de l'Antiquité (Matias Rodríguez, 2007). L'ingénierie romaine, à base de détournement de cours d'eau pour en utiliser la capacité érosive, est caractéristique d'une logique extractive vorace qui disparaît dans l'Europe médiévale. Durant cette période, les activités minières vont se poursuivre sur les non-ferreux ; le développement de filons en montagne amène à la construction de galeries et

<sup>2</sup> Concernant les enjeux politiques des sous-sols, voir le numéro spécial de *NSS* « Pour une géologie politique », dirigé par Xavier Arnaud de Sartre et Sébastien Chailleux (2021) : <https://www.nss-journal.org/articles/nss/abs/2021/03/contents/contents.html>.

à une montée en compétences techniques dans ce domaine. Il s'agit d'une industrie coûteuse en main-d'œuvre et d'une productivité incertaine. Il est donc logique que la modernité minière du continent européen se fonde sur la monnaie et soit financée par la fiscalité. Véritable phénomène à l'échelle du continent, les mines d'argent connaissent un essor important au XIV<sup>e</sup> siècle ; leur croissance étant stimulée par la demande de la Chine, qui a renoncé à la monnaie papier. Tout au long des périodes médiévale et moderne, le monde germanique s'affirme comme la patrie des mineurs, maîtresse à la fois de la technologie et du langage (Rehren *et al.*, 1999). Après 1530, et l'exploitation des mines du Potosí par le royaume espagnol, les investissements dans les secteurs miniers en Europe se poursuivent seulement pour les métaux industriels (Lane, 2019). Pour faire écho aux enjeux contemporains, M. Arnoux a proposé de voir la situation européenne préindustrielle comme une condition de contrainte : pendant de nombreux siècles, les sociétés du Vieux Continent allaient extraire les ressources minérales sur leur sol les amenant à développer une culture technique pour exploiter au maximum les gisements présents sur un espace contraint. De ce point de vue, la colonisation du continent américain, en particulier l'essor industriel des États-Unis, peut se décrire comme un effet rebond extractiviste, dû au passage d'une situation de contrainte à une situation d'abondance de la ressource minérale (Wright, 1990).

La deuxième séquence se composait de la première table ronde du colloque, intitulée « Quel modèle de soutenabilité pour les activités minières ? », dans laquelle communiquaient Olivier Vidal, Alexandre Chagnes et Patrick d'Hugues, avec pour discutant Raphaël Danino-Perraud (économiste, Université d'Orléans). L'objet de cette session était de mettre en lumière les enjeux miniers à partir de la perspective des S&T. Celles-ci formulent une réponse à une double injonction contradictoire : à la fois maintenir ou accroître l'industrie minière, tout en prenant en compte les contraintes écologiques et sociales. Ce qui relève de la problématique de l'acceptabilité.

Olivier Vidal (géologue, CNRS) a présenté dans son intervention, « Besoins futurs en matières premières et énergie dans le cadre de la transition énergétique », les enjeux, présents et à venir, autour de la production des métaux critiques et des besoins dans le fonctionnement sociotechnique de nos sociétés (Vidal, 2018). Dans un premier temps, O. Vidal a fait un état des lieux sur les besoins croissants tendanciels des matières premières pour les infrastructures humaines au cours du temps. Il a mis en évidence la possibilité de modéliser les besoins des métaux critiques, comme le cuivre (Cu), le lithium (Li), le cobalt (Co) et le nickel (Ni), pour anticiper la future consommation, alors que des pays comme l'Inde et la Chine connaissent une augmentation constante de leur consommation de matières premières. Pour cela, il a

inclus deux facteurs-clés que sont la transition énergétique, dont le développement des infrastructures fondées sur les énergies renouvelables, et la politique climatique, comprenant notamment l'objectif de limiter l'augmentation de la température globale en deçà de 2°C. D'une part, a-t-il indiqué, les besoins en matières premières des technologies des énergies renouvelables sont supérieurs à ceux des centrales de combustibles fossiles, tandis que nous observons un phénomène similaire pour les voitures électriques. D'autre part, le respect des ambitions climatiques requiert une consommation plus importante de matières premières (OCDE, 2019). Dans ses recherches, O. Vidal s'intéresse au Cu, en particulier, à sa disponibilité à partir de laquelle son extraction atteint un coût économique viable. Si les réserves de Cu n'ont cessé de croître depuis 1900, la concentration des gisements a, quant à elle, diminué, passant de 4% à moins de 1%. À la contrainte physique, s'ajoute la dimension géopolitique : la Chine demeure, en effet, le premier producteur et consommateur de métal au monde (Lazenby, 2022). Dès lors, les enjeux autour des ressources minérales sont tout aussi considérables que les questions énergétiques. Finalement, O. Vidal a estimé primordial d'entamer des travaux de modélisation dynamique pour évaluer la vulnérabilité et le risque, ce qui permettrait *in fine* d'améliorer la capacité de résilience (Vidal *et al.*, 2021).

Avec sa communication, « La sécurisation des matières premières dans le contexte de la transition énergétique : cas des batteries lithium-ion », Alexandre Chagnes (géologue, École nationale supérieure de géologie) a porté un constat identique. Il a souligné que l'humanité doit extraire, entre 2010 et 2050, autant de ressources minérales que celles qui l'ont été depuis le début de l'histoire humaine jusqu'en 2010 (IEA, 2021 ; Watari *et al.*, 2020). Parmi les minerais critiques, le lithium, composant essentiel pour les batteries lithium-ion, connaît une croissance exponentielle de ses besoins. Si les batteries des appareils électroniques contiennent du Li, celles des véhicules électriques en requièrent des quantités très significatives (entre 10 et 63 kg, selon le modèle du véhicule). Une grande partie du lithium, dont la provenance se répartit entre l'Argentine, la Bolivie et le Chili (60% des réserves mondiales), est extraite en utilisant la technique de pompage vers des bassins de saumure (composée à 70% d'eau et 30% de sel). Cette intervention a présenté ensuite les enjeux de l'organisation d'une filière de recyclage en Europe (Branca *et al.*, 2020). En mentionnant la constitution d'un réseau de « gigafactories » en Europe (dont des industriels français comme Eramet et Orano), A. Chagnes a détaillé le développement à venir d'un circuit de recyclage intégrant les batteries lithium-ion, qui pourrait aboutir à un véritable gisement secondaire en circulation sur le sol européen au cours des prochaines décennies. Il a

rappelé également la nécessité de maîtriser chaque étape de la chaîne de valeur. Sa prise de parole s'est terminée par un appel à développer une vision plus holistique du secteur industriel alors que les produits consommés sont de plus en plus complexes et contiennent des métaux de plus en plus nombreux.

Si ces deux précédentes interventions adoptaient le strict point de vue des S&T, Patrick d'Hugues (géologue, Bureau de recherches géologiques et minières [BRGM]) s'est interrogé sur le concept de soutenabilité de l'industrie extractive dans une communication intitulée « Vers une mine responsable et "durable" ». D'une part, il a recensé les nombreuses problématiques sociales et environnementales qui sont associées aux activités minières : la consommation énergétique, la qualité de l'air, la biodiversité, les déchets et effluents miniers, la santé des travailleurs, la corruption ou encore le financement de conflits armés. Si P. d'Hugues a noté une montée en puissance des oppositions, locales ou globales, le développement de la question de l'acceptabilité sociale – une notion très discutée au sein des sciences humaines et sociales – relève d'un effort de concertation et de coconstruction (Mudd, 2021). Selon lui, la perspective d'une exploitation minière responsable (*responsible mining*) requiert plusieurs préalables : l'implication et le respect de toutes les parties prenantes ; la prise en compte des impacts environnementaux et la répartition équitable des avantages économiques et financiers. En outre, la complexité de la chaîne de valeur demeure un aspect encore minoré dans les débats qui doit être abordé (Katz et Pietrobelli, 2018). À titre d'exemple, le lithium utilisé pour la batterie d'un véhicule électrique effectue au total un voyage de 30 000 kilomètres entre l'extraction du minerai et le consommateur final. Pour finir, P. d'Hugues considère qu'un transfert d'impact et de souveraineté pourrait permettre de prendre en compte les conséquences d'une activité minière et de première transformation sur d'autres territoires. En d'autres termes, il s'agirait de développer des outils juridiques, politiques et éthiques pour encadrer une activité qui est, par nature, transnationale.

Dans la dernière partie de cette première table ronde, un échange entre R. Danino-Perraud, discutant, et O. Vidal a permis de préciser que l'analyse de cycle de vie des ressources minérales reste encore un travail à effectuer. Pour cela, le taux de recyclage est un indicateur fondamental puisqu'il montre la quantité de métal produit à un instant T qui sera recyclée en fin de vie. Par exemple, 40 % du Cu produit aujourd'hui sera recyclé d'ici 25–30 ans. Afin de suivre la croissance de la demande de Cu dans le monde, il est nécessaire de doubler le taux de recyclage d'ici 2100. Autrement dit, 80 % du Cu contenu actuellement dans un produit doit être recyclé en fin de vie.

En forme de conclusion intermédiaire, les sciences et techniques répondent souvent aux injonctions politiques par une démarche technicienne centrée sur le savoir-faire des disciplines scientifiques. Les sciences et techniques présentent plus rarement une réflexivité sur leurs actions. Par conséquent, cette démarche détonne vis-à-vis des fondements critiques des SHS.

La seconde table ronde du colloque était intitulée « Penser la mine : interdisciplinarité, conflictualité et partage ». Pour débiter cette réflexion, Gilles Lhuillier (juriste, École normale supérieure de Rennes), dans une communication intitulée « Penser la mine », a énoncé que la problématique contemporaine voit l'introduction de l'épistémê de l'Anthropocène dans une épistémê plus ancienne, l'épistémê globale. La rencontre de ces deux univers de pensée bouleverse les concepts établis et marque l'entrée de la matérialité dans le champ du social (Mitchell, 2013), une direction qui influence les recherches sur la mine, tant du côté des SHS que de celui des sciences naturelles. Du point de vue du droit, il s'agit de l'actualisation des théories de la transnationalisation à l'aune de l'Anthropocène (Lander, 2020 ; Webster et Mai, 2020). Tout d'abord, l'intervenant s'est interrogé sur la possibilité d'articuler ces différentes épistémê, dans ce qui apparaît comme un vaste programme de reconceptualisation. L'épistémê de l'Anthropocène, a poursuivi G. Lhuillier, conduit alors à donner une agentivité aux non-humains à partir d'éléments référents et bien établis (Latour, 2018). À cet effet, il a décomposé en quatre points les clauses structurantes d'un contrat extractif qui pose les fondements d'une recomposition conceptuelle dans le secteur minier : 1) gouvernance ; 2) obligations essentielles (industrielles, sociales, environnementales) ; 3) équilibre économique ; 4) loi, juge (espace normatif). D'un point de vue juridique, il a observé que l'évolution du concept de « mine durable », inclus dans la *soft law* et outil de communication pour les entreprises, se juridicise progressivement. Il s'est interrogé également sur les enjeux méthodologiques inhérents à la question de l'interdisciplinarité et a appelé à une approche coconstructive entre le droit et les sciences. D'une part, il a présenté l'acceptation sociale comme méthode de rédaction des contrats extractifs en mettant en lumière le cas du projet « Montagne d'or » en Guyane. D'autre part, l'introduction de la médiation et l'arbitrage environnemental amènent à une obligation de vigilance dans toute la chaîne de valeur et une création d'un mode de résolution des litiges. À ce titre, l'inclusion de la clause de partie offre la possibilité à des tiers de solliciter une médiation ou un arbitrage qui oblige l'entreprise à accéder à cette demande. Finalement, le lancement d'une initiative de recherche sur le droit dans les objets invite à évaluer en amont les grands projets d'infrastructures et à



intégrer dans l'expérience scientifique une forme de juridicisation des questions de l'Anthropocène dans des aspects technico-économiques.

Pour faire suite à ce questionnement, la présentation d'Elsa Lafaye de Micheaux (économiste, Université Rennes 2), intitulée «Modèle chinois et industrie extractive : l'exemple de l'Asie du Sud-Est», met en lumière un premier exemple illustré par l'émergence, depuis deux décennies, de la Chine comme acteur économique et politique incontournable auprès de l'Association des nations de l'Asie du Sud-Est (ASEAN). À partir de son expérience de chercheuse dans cette région asiatique, elle a exposé le rôle structurant de la Chine dans le développement des projets miniers dans cette zone. Elle a observé l'absence de modèle unique chinois dans les activités minières en Asie du Sud-Est, alors que ce pays occupe un rôle très ancien dans le secteur minier dans cette région (Reid et Zheng, 2009). Ces différentes configurations s'expliquent par la pluralité des acteurs chinois et des types de contractualisation qu'ils ont développés : de gré à gré, formation de *joint-venture*, contrats de long terme entre des entreprises exportatrices, étrangères ou locales, et l'industrie chinoise de la métallurgie (Mottet *et al.*, 2015). À ce titre, le cas de la Birmanie, perçue comme un eldorado par les pays occidentaux pour ses gisements importants en minerais précieux, est révélateur de la plasticité des positionnements chinois. En effet, alors que la Birmanie était sous sanctions économiques jusqu'en 2011, la Chine y est implantée depuis longtemps, ayant une longueur d'avance sur ses concurrents. Ainsi, dans les territoires où les entreprises chinoises opèrent, elles coopèrent étroitement avec les élites locales, elles-mêmes en opposition avec le pouvoir central birman. De même, lors du coup d'État de février 2021, les mineurs de gisements, sous propriété chinoise, ont mené une grève pour s'opposer aux putschistes (The Irrawaddy, 2021). Pour conclure son propos, E. Lafaye de Micheaux a insisté sur la nature conflictuelle du cas chinois en Asie du Sud-Est qui recouvre finalement trois dimensions : géopolitique, écologique et socioéconomique *via* cette influence sur les dynamiques locales.

Dans un second cas reflétant les enjeux sociopolitiques, intitulé «Appropriations de l'eau par les mines : une approche géolégale», Chloé Nicolas-Artero (géographe, Centro de Ciencia del Clima y la Resiliencia, Chili) a présenté la question de l'eau dans les conflits miniers au Chili. Après un état des lieux sur les violences environnementales qui comprennent la pollution, la surexploitation des eaux et le déplacement des populations (Molina Camacho, 2012), elle a mis en exergue la répression des mobilisations socioenvironnementales contre des projets, témoignant de la réalité de cette conflictualité autour de la mine (Furnaro, 2019 ; Akchurin, 2020). Ses observations font état d'une

reconnaissance constitutionnelle dans certains pays d'Amérique latine du droit environnemental (Bolivie, Équateur), tout en constatant que les économies de la région restent fondamentalement tributaires des activités extractives. Dans ce contexte, C. Nicolas-Artero s'est interrogée sur l'extension des activités minières menée par les entreprises malgré les normes environnementales, la pénurie d'eau et les contestations locales. Dans le cas chilien, elle a rappelé que le contexte juridique du pays a évolué avec la mise en œuvre du code de l'eau (1981) qui favorise l'allocation de l'eau vers les usagers qui en font un « usage efficient » et qui participent au développement économique du pays<sup>3</sup>. Ensuite, elle a mis en évidence la nature des dispositifs législatifs actuels qui tolèrent un certain niveau de pollution et de dégradation environnementale. Malgré les engagements internationaux et juridiques de l'État chilien en faveur de la transition énergétique et de la protection de l'environnement, C. Nicolas-Artero a estimé que le cadre normatif en vigueur promeut, directement ou indirectement, l'extractivisme minier par l'appropriation de l'eau. En fin de compte, le cadre normatif établi par l'État chilien dans les années 1980 reste toujours en vigueur, ce qui peut conduire à émettre des doutes sur les futurs changements de la nouvelle constitution du pays en discussion (Benedikter *et al.*, 2021 ; Dixon et Verdugo, 2021 ; Heiss, 2021<sup>4</sup>). Enfin, elle a présenté deux pistes essentielles pour modifier les conceptions de la nature dans le droit : la représentation des ressources hydriques comme étant illimitées dans le code de l'eau ; et la mise en avant du principe de substituabilité de la nature dans la loi sur l'environnement qui veut que les dégâts environnementaux ne soient pas empêchés et compensés à la mesure du niveau des « externalités négatives » produites sur la nature. Sur ce dernier point, l'intervenante a conclu que ce principe favorise la dégradation environnementale à long terme.

À l'issue de cette troisième séquence, la discussion de ce panel, menée par Thomas Brisson (politiste, Université Paris 8), a mis en exergue la faiblesse du droit dans les activités minières. D'une part, G. Lhuillier a rappelé que le droit international de l'environnement ne se reflète pas dans le droit national des États, bien que les juristes puissent donner les bons outils pour réduire cette dichotomie. D'autre part, E. Lafaye de Micheaux et C. Nicolas-Artero ont pointé des problématiques parallèles liant les droits de l'Homme et le droit de l'environnement, mais ont jugé incontournable une réponse aux enjeux éthiques pour envisager des activités minières soutenables.

<sup>3</sup> La constitution chilienne de 1980, établie sous le régime Pinochet, reconnaît la propriété privée sur l'eau.

<sup>4</sup> Lors du plébiscite constitutionnel qui s'est déroulé le 4 septembre 2022, 62 % des suffrages exprimés ont rejeté la nouvelle constitution.

## Quelles perspectives ?

La dernière séquence de cette demi-journée de travaux a été une discussion générale entre les différents intervenants sur les difficultés à agencer une recherche interdisciplinaire sur les mines. Il s'agissait d'identifier les freins existants, de concevoir des outils méthodologiques et d'envisager une institutionnalisation des pratiques.

Tout d'abord, l'ensemble des intervenants s'est accordé sur l'enjeu méthodologique, essentiel pour l'amorce d'une pratique interdisciplinaire, et sur la nécessité de créer un langage commun entre les disciplines. Cette homogénéisation est une étape essentielle à l'incorporation des différentes matières alors que le vocabulaire est différent. À cet effet, certains ont souligné le besoin de reposer les termes des débats théoriques, techniques et scientifiques et d'explorer les zones d'intérêt commun. Ce travail, indispensable, d'élaboration d'une méthodologie différente, mais rigoureuse, demeure central pour ne pas remettre en cause les questions posées à la recherche sur les mines, notamment celle du concept controversé de « mine durable ». Cette question méthodologique révèle des différences épistémologiques entre S&T et SHS qui restent jusqu'à aujourd'hui majeures. Les systèmes techniques sont tout autant des systèmes sociaux, et inversement, une approche technicienne par les S&T ne suffit pas pour apporter des réponses dans le contexte d'un bouleversement planétaire. Ces réponses ne peuvent être du seul ressort des S&T et demandent l'expertise essentielle des SHS pour envisager un futur soutenable des sociétés humaines et de leurs systèmes techniques.

Ensuite, la promotion et le renforcement en France de cette pratique interdisciplinaire s'exposent à des obstacles institutionnels dans sa mise en œuvre, car elle est contraire à la nature même de l'organisation de la recherche universitaire qui a prévalu jusqu'à maintenant. Les travaux menés sur les mines doivent dès lors favoriser l'interdisciplinarité et par là redéfinir les conditions mêmes de la recherche et du débat scientifique. Ces transformations attendues touchent à la fois les universitaires, mais aussi l'ensemble des acteurs du secteur et les pouvoirs publics, dont l'appui est indispensable à l'émergence d'un cadre institutionnel académique flexible et novateur (Fig. 1). L'émergence de ce cadre s'avère urgente, en raison de la mise en place des politiques publiques d'industrialisation sur le territoire national qui comprennent l'ouverture de gisements en matériaux critiques et le développement d'une filière de recyclage des métaux (Ministère de l'Économie, des Finances et de la Souveraineté industrielle et numérique, 2022 ; Ministère de la Transition écologique et de la Cohésion des territoires, 2022b). Ces initiatives s'accompagnent également d'un soutien affirmé à la recherche française dans le domaine (BRGM, 2022 ; CNRS, 2022). Celles-ci pourraient éventuellement

favoriser la perméabilité entre disciplines et le travail en commun des chercheurs et des chercheuses, malgré la rigidité persistante des structures disciplinaires.

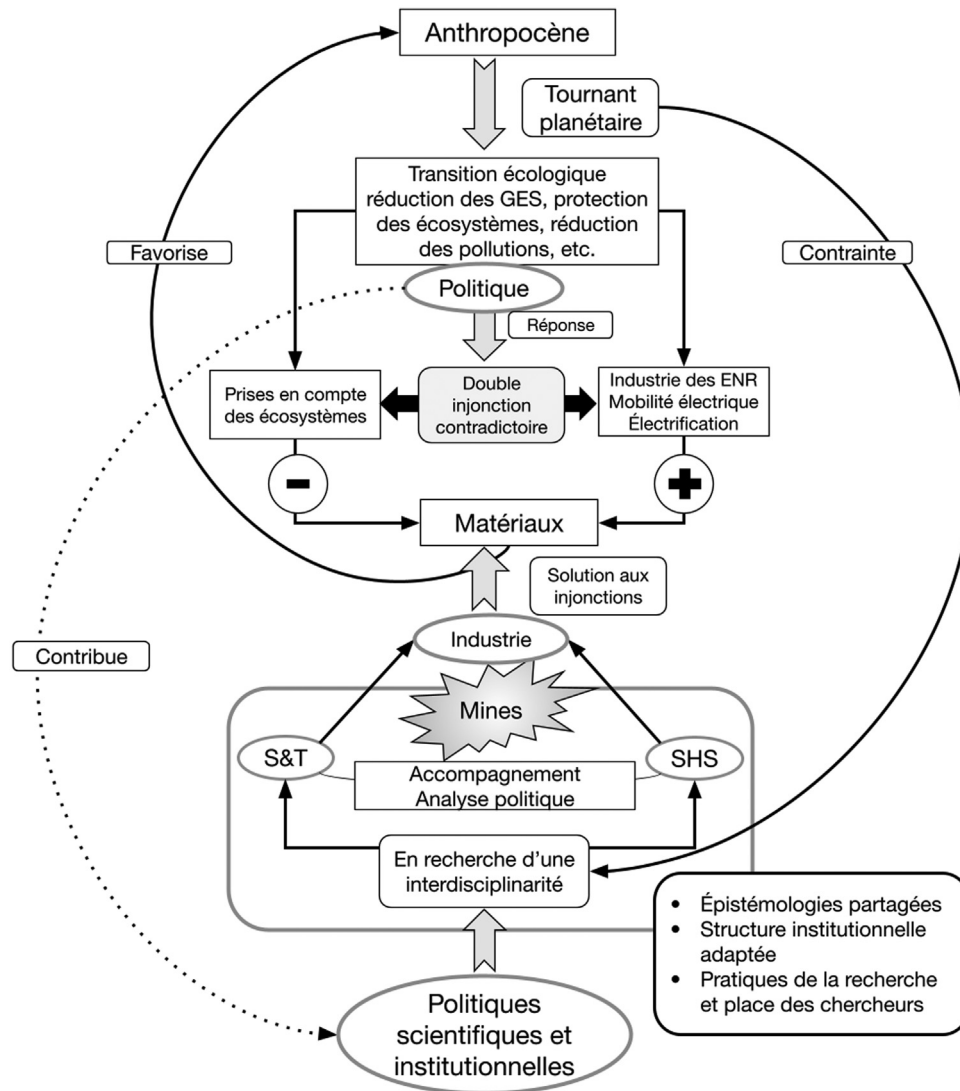
Pour conclure, cet *aggiornamento* institutionnel, méthodologique et épistémologique intervient dans un contexte géopolitique en profonde mutation. La transition écologique se voit perturbée par l'immixtion de plusieurs facteurs – la pandémie (2020-2021), la guerre en Ukraine (2022), la confrontation économique avec la Chine (2022) – qui restructurent durablement les enjeux autour des minerais. En raison de la maîtrise de la chaîne de valeur industrielle, la Chine domine le secteur minier depuis deux décennies tandis que l'Union européenne tente de définir une stratégie durable et crédible, à la fois compatible avec sa politique de transition et avec la compétition dans laquelle elle est engagée vis-à-vis des autres puissances géoéconomiques (Gregoir et van Acker, 2022).

Généralement, les S&T remettent peu en cause les choix politiques et répondent de manière technicienne aux injonctions politiques et à leurs légitimités. En quelque sorte, les aspects techniques et scientifiques recouvrent d'un voile les politiques choisies. Les SHS se fondent souvent sur des épistémologies critiques des choix politiques. Leur angle d'étude sera alors de révéler ces choix et de les remettre en discussion. Dans ce contexte, une véritable interdisciplinarité bute sur cette opposition entre ces deux approches. Cela pose aussi la question de la place des institutions universitaires, fondées sur une liberté académique, par rapport aux institutions étatiques de recherche (BRGM, CEA, etc.) devant répondre aux injonctions de l'État<sup>5</sup>. Les urgences vitales associées à l'Anthropocène changent la donne et rendent certains scientifiques (S&T) plus critiques face aux choix politiques, comme les « scientifiques en rébellion<sup>6</sup> », par exemple. Mais on est encore loin de pouvoir disposer d'une analyse critique conjointe des choix politiques qui permettrait d'éviter des erreurs stratégiques, comme l'illustrent les cas présentés sur le Chili et l'Asie du Sud-Est.

Pris ensemble, ces éléments soulignent l'urgence de nouer un dialogue interdisciplinaire entre chercheurs qui permette d'établir un agenda de recherche stimulant et progressif et d'élaborer des outils méthodologiques innovants. Autrement dit, cette initiative, appelée à se poursuivre, est une invitation à la mobilisation des acteurs universitaires, institutionnels et privés, à l'heure des défis multifactoriels et systémiques de la transition écologique. C'est dans cette urgence, sous des pressions

<sup>5</sup> Même si cette division n'est pas aussi marquée que notre raccourci dans cette présentation. Toutes les institutions de recherche publique fonctionnent dans un cadre politique étatique.

<sup>6</sup> Voir le mouvement international Scientist Rebellion, <https://scientistrebellion.org/>.



Florian Vidal & José Halloy  
LIED UMR 8236, Université Paris Cité

**Fig. 1.** Anthropocène et industrie minière.

politiques, géopolitiques et socioéconomiques, qu'une refondation des relations entre toutes les sciences devrait être pensée pour répondre aux défis de l'Anthropocène.

## Références

- Akchurin M., 2020. Mining and defensive mobilization: explaining opposition to extractive industries in Chile, *Sociology of Development*, 6, 1, 1-29, <https://doi.org/10.1525/sod.2020.6.1.1>.
- Arnauld de Sartre X., Chailleux S. (Eds), 2021. Pour une géologie politique, *Natures Sciences Sociétés*, 29, suppl., <https://www.nss-journal.org/articles/nss/abs/2021/03/contents/contents.html>.
- Aubertin C., Hubert B., Millier C., 2021. Le sous-sol, un nouvel enjeu environnemental, *Natures Sciences Sociétés*, 29, Suppl., S1, <https://doi.org/10.1051/nss/2021055>.
- Billaud J.-P., 2003. De l'objet de l'interdisciplinarité à l'interdisciplinarité autour des objets, *Natures Sciences Sociétés*, 11, 29-36, [https://doi.org/10.1016/S1240-1307\(03\)00005-0](https://doi.org/10.1016/S1240-1307(03)00005-0).
- Barnes W., Gartland M., Stack M., 2016. Old habits die hard: path dependency and behavioral lock-in, *Journal of Economic Issues*, 38, 2, 371-377, <https://doi.org/10.1080/00213624.2004.11506696>.
- Benedikter R., Cruz Infante C., Zlosilo M., 2021. The future of democracy in Chile, *Challenge*, 64, 2, 172-180, <https://doi.org/10.1080/05775132.2021.1881294>.
- Berkhout F., 2002. Technological regimes, path dependency and the environment, *Global Environmental Change*, 12, 1, 1-4, [https://doi.org/10.1016/S0959-3780\(01\)00025-5](https://doi.org/10.1016/S0959-3780(01)00025-5).

- Branca T.A., Colla V., Algermissen D., Granbom H., Martini U., Morillon A., Pietruck R., Rosendahl S., 2020. Reuse and recycling of by-products in the steel sector: recent achievements paving the way to circular economy and industrial symbiosis in Europe, *Metals*, 10, 3, 345, <https://doi.org/10.3390/met10030345>.
- BRGM (Bureau de recherches géologiques et minières), 2022. *France 2030 : le BRGM sélectionné pour copiloter deux nouveaux programmes de recherche exploratoires*, Orléans, Bureau de recherches géologiques et minières, [https://www.brgm.fr/fr/actualite/communiqu%C3%A9-france-2030-brgm-selectionne-copiloter-deux-nouveaux-programmes#:~:text=Le%20PEPR%20SOUSSOL%20\(%22Sous%2D,rassemble%2035%20institutions%20et%20laboratoires](https://www.brgm.fr/fr/actualite/communiqu%C3%A9-france-2030-brgm-selectionne-copiloter-deux-nouveaux-programmes#:~:text=Le%20PEPR%20SOUSSOL%20(%22Sous%2D,rassemble%2035%20institutions%20et%20laboratoires).
- Brovkin V., Brook E., Williams J., Bathiany S., Lenton T., Barton M., DeConto R.M., Donges J.F., Ganopolski A., McManus J., et al., 2021. Past abrupt changes, tipping points and cascading impacts in the Earth system, *Nature*, 14, 550-558, <https://doi.org/10.1038/s41561-021-00790-5>.
- Burchardt H.J., Dietz K., 2014. (Neo-)extractivism – a new challenge for development theory from Latin America, *Third World Quarterly*, 35, 3, 468-486, <https://doi.org/10.1080/01436597.2014.893488>.
- Commission européenne, 2020. *Résilience des matières premières critiques : la voie à suivre pour un renforcement de la sécurité et de la durabilité*, Bruxelles, Commission européenne, <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/FR/TXT/PDF/?uri=CELEX:52020DC0474>.
- CNRS, 2022. *PEPR exploratoire sous-sol*, Paris, CNRS Terre & Univers, <https://www.insu.cnrs.fr/fr/PEPR-soussol>.
- Dixon R., Verdugo S., 2021. Social rights and constitutional reform in Chile: towards hybrid legislative and judicial enforcement, *Estudios Públicos*, 162,1-28, <http://dx.doi.org/10.2139/ssrn.3753041>.
- Gregoir L., van Acker K., 2022. *Metals for clean energy: pathways to solving Europe's raw materials challenge*, Leuven, KU Leuven, [https://eurometaux.eu/media/rqoc\\_jybv/metals-for-clean-energy-final.pdf](https://eurometaux.eu/media/rqoc_jybv/metals-for-clean-energy-final.pdf).
- Fresneau J., Gautier L., 2020. À la croisée des chemins : le jeune chercheur entre désir d'interdisciplinarité et ancrage monodisciplinaire, *Encyclo. Revue de l'école doctorale Science des sociétés (ED 624)*, Université de Paris, 11, 9-15, <https://u-paris.hal.science/hal-02900683>.
- Furnaro A., 2019. Hegemony and passivity in mining regions: containing dissent in north-central Chile, *The Extractive Industries and Society*, 6, 1, 215-222, <https://doi.org/10.1016/j.exis.2018.07.009>.
- Heiss C., 2021. Latin America erupts: re-founding Chile, *Journal of Democracy*, 32, 3, 33-47, <https://doi.org/10.1353/jod.2021.0032>.
- Hughes T., Carpenter S., Rockström J., Scheffer M., Walker B., 2013. Multiscale regime shifts and planetary boundaries, *Trends in Ecology & Evolution*, 28, 7, 389-395, <https://doi.org/10.1016/j.tree.2013.05.019>.
- IEA (International Energy Agency), 2021. *The role of critical minerals in clean energy transitions*, Paris, International Energy Agency, <https://www.iea.org/reports/the-role-of-critical-minerals-in-clean-energy-transitions>.
- Katz J., Pietrobelli C., 2018. Natural resource based growth, global value chains and domestic capabilities in the mining industry, *Resources Policy*, 58, 11-20, <https://doi.org/10.1016/j.resourpol.2018.02.001>.
- Laflamme S., 2011. Recherche interdisciplinaire et réflexion sur l'interdisciplinarité, *Nouvelles perspectives en sciences sociales*, 7, 1, 49-64, <https://doi.org/10.7202/1007081ar>.
- Lander J., 2020. *Transnational law and state transformation. The case of extractive development in Mongolia*, London, Routledge.
- Lane K., 2019. *Potosí. The silver city that changed the world*, Oakland, University of California Press.
- Latour B., 2018. Esquisse d'un Parlement des choses, *Écologie & politique*, 56, 1, 47-64, <https://doi.org/10.3917/ecopol.056.0047>.
- Lazenby H., 2022. *China drags down entire industrial metals complex. Report*, Mining.com, <https://www.mining.com/china-drags-down-entire-industrial-metals-complex-report/>.
- Liebowitz S.J., Margolis S., 1995. Path dependence, lock-in, and history, *Journal of Law, Economics, & Organization*, 11, 1, 205-226, <https://doi.org/10.1093/oxfordjournals.jleo.a036867>.
- Martín F., 2017. Reimagining extractivism: insights from spatial theory, in Engels B., Dietz K. (Eds), *Contested extractivism, society and the state. Development, justice and citizenship*, London, Palgrave Macmillan, [https://doi.org/10.1057/978-1-137-58811-1\\_2](https://doi.org/10.1057/978-1-137-58811-1_2).
- Matías Rodríguez R., 2007. El agua en la ingeniería de la explotación minera de Las Médulas (León-España), *Lancia: revista de prehistoria, arqueología e historia antigua del noroeste peninsular*, 7, 17-112.
- Ministère de l'Économie, des Finances et de la Souveraineté industrielle et numérique, 2022. *France 2030 : les 5 premiers lauréats de l'appel à projets « Métaux critiques »*, Paris, Ministère de l'Économie, des Finances et de la Souveraineté industrielle et numérique, <https://www.entreprises.gouv.fr/fr/actualites/france-2030/france-2030-5-premiers-laureats-de-l-appel-projets-metaux-critiques>.
- Ministère de la Transition écologique et de la Cohésion des territoires, 2022a. *Investir dans la France de 2030 : remise au gouvernement du rapport Varin sur la sécurisation de l'approvisionnement en matières premières minérales et ouverture d'un appel à projets dédié*, Paris, Ministère de la Transition écologique et de la Cohésion des territoires, <https://www.ecologie.gouv.fr/investir-dans-france-2030-remise-au-gouvernement-du-rapport-varin-sur-securisation>.
- Ministère de la Transition écologique et de la Cohésion des territoires, 2022b. *Stratégie d'accélération. Recyclabilité, recyclage, réincorporation des matériaux recyclés*, Paris, Ministère de la Transition écologique et de la Cohésion des territoires, <https://www.ecologie.gouv.fr/strategie-daccele-ration-recyclabilite-recyclage-reincorporation-des-materiaux-recycles>.
- Mitchell T., 2013. *Carbon democracy. Political power in the age of oil*, London, Verso Books.



- Molina Camacho F., 2012. Competing rationalities in water conflict: mining and the indigenous community in Chiu Chiu, El Loa Province, northern Chile, *Singapore Journal of Tropical Geography*, 33, 1, 93-101, <https://doi.org/10.1111/j.1467-9493.2012.00451.x>.
- Mottet É., Lasserre F., Courmont B., 2015. *Géopolitique des ressources minières en Asie du Sud-Est. Trajectoires plurielles et incertaines. Indonésie, Laos et Viêt Nam*, Québec, Presses de l'Université du Québec.
- Mudd G.M., 2021. Sustainable/responsible mining and ethical issues related to the Sustainable Development Goals, in Di Capua G., Bobrowsky P.T., Kieffer S.W., Palinkas C. (Eds), *Geoethics: status and future perspectives*, London, Geological Society, 187-199, <https://doi.org/10.1144/SP508-2020-113>.
- OCDE (Organisation de coopération et de développement économiques), 2019. *Global material resources outlook to 2060. Economic drivers and environmental consequences*, Paris, Organisation for Economic Co-operation and Development, <https://doi.org/10.1787/9789264307452-en>.
- Rehren T., Schneider J., Bartels C., 1999. Medieval lead-silver smelting in the Siegerland, West Germany, *Historical Metallurgy: The Journal of the Historical Metallurgy Society*, 33, 2, 73-84, <https://www.hmsjournal.org/index.php/home/article/view/296>.
- Reid A., Zheng, Y., 2009. *Negotiating asymmetry. China's place in Asia*, Singapore, NUS Press.
- Rocha J., Peterson G., Bodin Ö., Levin S., 2018. Cascading regime shifts within and across scales, *Science*, 362, 6421, 1379-1383, <https://doi.org/10.1126/science.aat7850>.
- The Irrawaddy, 2021. *Myanmar copper miners join anti-coup strike*, The Irrawaddy, <https://www.irrawaddy.com/news/myanmar-copper-miners-join-anti-coup-strike.html>.
- Turner M., Calder W.J., Cumming G., Hugues T., Jentsch A., LaDeau S.L., Lenton T.M., Shuman B.N., Turetsky M.R., Ratajczak Z., et al., 2020. Climate change, ecosystems and abrupt change: science priorities, *Philosophical Transactions of the Royal Society B*, 375, 20190105, <https://doi.org/10.1098/rstb.2019.0105>.
- Vidal O., 2018. *Matières premières et énergie. Les enjeux de demain*, Londres, ISTE Éditions.
- Vidal O., Le Boulzec H., Andrieu B., Verzier F., 2021. Modelling the demand and access of mineral resources in a changing world, *Sustainability*, 14, 11, <https://doi.org/10.3390/su14010011>.
- Watari T., Nansai K., Nakajima K., 2020. Review of critical metal dynamics to 2050 for 48 elements, *Resources, Conservation and Recycling*, 155, 104669, <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2019.104669>.
- Webster E., Mai L., 2020. Transnational environmental law in the Anthropocene, *Transnational Legal Theory*, 11, 1-2, 1-15, <https://doi.org/10.1080/20414005.2020.1778888>.
- Wright G., 1990. The origins of American industrial success, 1879-1940, *The American Economic Review*, 80, 4, 651-668, <https://www.jstor.org/stable/2006701>.

**Citation de l'article** : Halloy J., Vidal F. 2023. Les mines : enjeu de la transition écologique ? Un colloque au centre à Paris de l'Université de Chicago. *Nat. Sci. Soc.* 31, 3, 359-367.