# *Essais en économie des métaux : durabilité et marchés*

Maylis Peyret

La transition énergétique transforme profondément les marchés de métaux : l'électrification, le développement des énergies renouvelables et des véhicules électriques augmentent sensiblement les besoins, auxquels s'ajoutent ceux liés à la numérisation et au développement des économies émergentes. Face à cette demande croissante, l'offre minière s'ajuste lentement et reste soumise à la raréfaction progressive des ressources. Cette thèse étudie donc la soutenabilité économique de long terme des marchés de métaux : peuvent-ils continuer à satisfaire la demande lorsque celle-ci augmente tandis que les contraintes sur l'offre s'intensifient ? La soutenabilité est définie par l'existence d'un équilibre NENO (*Non-Explosive*, *Non-Zero*) : une trajectoire sur laquelle prix et quantités ne tendent ni vers zéro, ni vers l'infini.

Pour répondre à cette question, la thèse construit un modèle dynamique faisant évoluer conjointement demande, offre et prix. La demande dépend du développement économique et des transformations technologiques, mais aussi du prix. L'offre repose sur une représentation de la disponibilité cumulée des ressources : des prix plus élevés peuvent rendre exploitables des ressources supplémentaires, tandis que l'extraction cumulée réduit progressivement celles qui restent disponibles. Cette articulation originale entre contraintes de ressources, transformations structurelles de la demande et dynamique de marché permet d'identifier quatre conditions de soutenabilité : un rythme de croissance des besoins en métaux qui ne dépasse pas durablement les possibilités d'expansion de la production ; une demande suffisamment sensible aux prix ; un progrès technique permettant d'accroître l'offre ; enfin, des prix capables de signaler la raréfaction de la ressource.

Le modèle est ensuite appliqué au marché mondial du cuivre, métal qui constitue à la fois un intrant fondamental de l'économie et un matériau essentiel à l'électrification, tout en bénéficiant de données permettant une paramétrisation robuste. Plusieurs trajectoires de demande sont simulées jusqu'en 2050 à partir des scénarios de transition énergétique de l'Agence internationale de l'énergie. Les résultats mettent en évidence une forte divergence entre les besoins anticipés et les quantités effectivement consommées. Lorsque l'offre primaire est seule à assurer l'ajustement, les contraintes de production, notamment la baisse progressive de la teneur en minerais, provoquent une envolée non soutenable des prix et, en retour, une destruction massive de demande. Le risque est alors celui d'une raréfaction économique bien avant l'épuisement physique des ressources : l'ajustement du marché par les prix ne garantit pas la satisfaction des besoins associés à la transition énergétique.

La thèse examine alors, à partir des conditions théoriques précédemment identifiées, les mécanismes susceptibles de rétablir la soutenabilité. Une demande plus élastique atténue la pente des prix, mais ceux-ci restent orientés à la hausse. Le progrès technique du côté de l'offre, en augmentant les ressources économiquement accessibles, permet en revanche d'obtenir des trajectoires de prix en cloche d'ici 2050. Enfin, l'introduction d'une offre secondaire issue du recyclage accroît la capacité d'ajustement du marché et amortit les tensions sur les prix, parfois de plus de 50 % selon les scénarios. Son développement reste toutefois contraint par la disponibilité des métaux en fin de vie : le recyclage apparaît davantage comme un amortisseur que comme un substitut à l'extraction primaire.

Une dernière question découle directement de ce cadre : les prix jouent-ils effectivement le rôle de signal de rareté nécessaire à l'ajustement du marché? L'étude économétrique des prix du cuivre sur le London Metal Exchange montre que ce signal existe, mais qu'il est imparfait : la transmission des fondamentaux aux prix est non linéaire et dépend du régime de marché. Les prix à terme, quant à eux, apportent peu d'information supplémentaire sur la rareté future, reflétant principalement les prix au comptant.

La thèse montre ainsi que la disponibilité future des métaux ne peut être évaluée par la seule comparaison entre besoins anticipés et ressources disponibles. L'existence de ressources géologiques ne garantit pas leur disponibilité économique : les contraintes de production peuvent entraîner une hausse des prix et une contraction de la demande bien avant l'épuisement physique des ressources.

**Laboratoire d'accueil :** Le Laboratoire d'économie de Dauphine (LEDa), créé en 2009 et présidé par Philippe de Vreyer, rassemble les enseignants-chercheurs en économie de l'Université Paris-Dauphine-PSL ainsi que des chercheurs du CNRS et de l'IRD. Il compte 142 membres, dont 63 enseignants-chercheurs, 13 chercheurs CNRS et IRD et une soixantaine de doctorants. Ses travaux, orientés vers l'aide à la décision, sont organisés en cinq axes thématiques : l'énergie, l'environnement et le climat (CGEMP), le développement, les institutions et la mondialisation (DIAL), la théorie des jeux (JEET), la santé et le vieillissement (LEGOS), et l'économie financière et les politiques macroéconomiques (SDFi).

Le Centre de géopolitique de l'énergie et des matières premières (CGEMP) est une équipe de recherche du LEDa dirigée par Patrice Geoffron. Fondé en 1982 à l'initiative d'André Giraud, ancien ministre de l'Industrie, il favorise le dialogue entre recherche académique et acteurs économiques. Ses travaux portent sur les enjeux économiques et géopolitiques de l'énergie et des matières premières, les transformations des systèmes énergétiques et le changement climatique.

Pour plus d'informations : https://leda.dauphine.fr/.

**Soutenance de la thèse :** La thèse a été soutenue le vendredi 16 janvier 2026 à l'Université Paris-Dauphine-PSL, sous la direction du professeur Frédéric Gonand (Université Paris-Dauphine-PSL), en présence du président du jury Ricardo Raineri (Pontificia Universidad Católica de Chile, Santiago), des rapporteurs Aude Pommeret (Université de Savoie Mont-Blanc) et Roderick Eggert (Colorado School of Mines), et avec la participation en ligne des examinateurs Sara Vakhshouri (Georgetown University, Center for Energy Security and Diplomacy, Oxford Institute of Energy Studies) et Timothy Laing (King Abdullah Petroleum Studies and Research Center).

La thèse est disponible sur : https://theses.hal.science/tel-05574774.

**Et après la thèse?** Maylis Peyret poursuit aujourd'hui ses travaux de recherche en tant que chercheuse associée au LEDa. Elle continue également d'enseigner au sein de plusieurs formations de l'Université Paris-Dauphine-PSL, à l'Institut de gestion de patrimoine et à l'Institut pratique du journalisme. Parallèlement, elle rejoint la Direction générale des relations internationales et de la stratégie (DGRIS) du ministère des Armées en qualité de chargée de mission «Stratégies matières premières critiques et ressources minérales».