

CEA Saclay –Service de Physique de l’Etat Condensé (SPEC) ([page web](#))

Laboratoire *SPHYNX* ([page web](#))

## PROPOSITION DE STAGE 2024/2025

### ENERGY AND MATERIAL INVESTMENT IN RAILWAY DEVELOPMENT DURING THE INDUSTRIAL REVOLUTION

#### INVESTISSEMENT MATIERE ET ENERGIE DANS LE DEVELOPPEMENT DU RESEAU FERRE AU COURS DE LA REVOLUTION INDUSTRIELLE

As the energy transition to a zero-emission society gets underway, attempts are being made to estimate the associated costs [1], as well as the impact on the use of natural resources, particularly for energy investments [2]. The development of energy transmission and distribution networks is often a blind spot in forecasts, even though they are recognized as central to the use of low-carbon energies [3]. We propose to explore the historical case of the development of the railway network in the 19th century, in terms of the consumption of material and energy resources for its construction, maintenance and use. Our ambition is to understand the link between the dynamics of transport development and economic growth based on coal, both the raw material of the network and the beneficiary of its development [4, 5]. We will make use of the results already obtained by graph theory applied to these spatial networks [6], and will draw on a similar approach underway for electricity networks [7]. The aim of the internship will be to gather documentary resources, define the geographical study area in line with available data, and present an initial network development model. The internship is expected to end up in a PhD position.

- [1] R. Way, M. C. Ives, P. Mealy, J. D. Farmer, Empirically grounded technology forecasts and the energy transition. *Joule* **6**(9), 2057-2082 (2022).
- [2] A. Slameršak, G. Kallis, D. W. O’Neill, Energy requirements and carbon emissions for a low-carbon energy transition. *Nature communications* **13**(1), 6932 (2022).
- [3] RTE, France, Futurs énergétiques 2050 (2022), rapport complet téléchargeable sur <https://www.rte-france.com/analyses-tendances-et-prospectives/bilan-previsionnel-2050-futurs-energetiques>
- [4] P. Malanima, The limiting factor: energy, growth, and divergence, 1820–1913. *The Economic History Review* **73**(2), 486-512 (2020).
- [5] B. Tostes, S. T. Henriques, P. E. Brockway, M. K. Heun, T. Domingos, T. Sousa, On the right track? Energy use, carbon emissions, and intensities of world rail transportation, 1840–2020. *Applied Energy* **367**, 123344 (2024).
- [6] a. R. Louf, C. Roth, M. Barthelemy, Scaling in transportation networks. *PLoS One* **9**(7), e102007 (2014).  
b. M. Barthelemy, *Spatial Networks: A Complete Introduction: From Graph Theory and Statistical Physics to Real-World Applications*. Springer Nature (2022).
- [7] E. Emery, H. Bercegol, N. Jonquieres, S. Aumaître, Complex Network Analysis of Transmission Networks Preparing for the Energy Transition: Application to the Current French Power Grid. to appear in *The European Physical Journal B*.

**CONTACTS :** Hervé Bercegol, 06 17 91 24 79, [herve.bercegol@cea.fr](mailto:herve.bercegol@cea.fr)

Sebastien Aumaître, 01 69 08 74 37, [sebastien.aumaitre@cea.fr](mailto:sebastien.aumaitre@cea.fr)

Émile Émery, 01 69 08 73 36, [emile.emery@cea.fr](mailto:emile.emery@cea.fr)

CEA Saclay –Service de Physique de l’Etat Condensé (SPEC) ([page web](#))

Laboratoire *SPHYNX* ([page web](#))

## PROPOSITION DE STAGE 2024/2025

### ENERGY AND MATERIAL INVESTMENT IN RAILWAY DEVELOPMENT DURING THE INDUSTRIAL REVOLUTION

### INVESTISSEMENT MATIERE ET ENERGIE DANS LE DEVELOPPEMENT DU RESEAU FERRE AU COURS DE LA REVOLUTION INDUSTRIELLE

Alors que la transition énergétique vers une société zéro-émission est en route, on essaye d’estimer les coûts afférents [1], ainsi que l’impact en utilisation de ressources naturelles, tout particulièrement pour les investissements en énergie [2]. Le développement des réseaux de transport et distribution d’énergie sont souvent un angle mort des prévisions, bien qu’ils soient reconnus comme central dans l’utilisation des énergies bas carbone [3]. Nous nous proposons d’explorer le cas historique du développement du réseau ferré au 19<sup>e</sup> siècle, en terme de consommation de ressources matérielles et énergétiques pour sa construction, sa maintenance et son utilisation. L’ambition est de comprendre le lien entre la dynamique du développement des transports et la croissance économique basée sur le charbon, à la fois matière première du réseau et bénéficiaire de son développement [4, 5]. On utilisera les résultats déjà obtenus par la théorie des graphes appliquée à ces réseaux spatiaux [6], et l’on s’appuiera également sur une démarche similaire en cours sur les réseaux électriques [7]. Le stage aura pour objectif de réunir les ressources documentaires, de définir la zone géographique d’étude en cohérence avec les données disponibles, et de présenter un premier modèle de développement du réseau. Une continuation en thèse est envisagée.

- [1] R. Way, M. C. Ives, P. Mealy, J. D. Farmer, Empirically grounded technology forecasts and the energy transition. *Joule* **6**(9), 2057-2082 (2022).
- [2] A. Slameršak, G. Kallis, D. W. O’Neill, Energy requirements and carbon emissions for a low-carbon energy transition. *Nature communications* **13**(1), 6932 (2022).
- [3] RTE, France, Futurs énergétiques 2050 (2022), rapport complet téléchargeable sur <https://www.rte-france.com/analyses-tendances-et-prospectives/bilan-previsionnel-2050-futurs-energetiques>
- [4] P. Malanima, The limiting factor: energy, growth, and divergence, 1820–1913. *The Economic History Review* **73**(2), 486-512 (2020).
- [5] B. Tostes, S. T. Henriques, P. E. Brockway, M. K. Heun, T. Domingos, T. Sousa, On the right track? Energy use, carbon emissions, and intensities of world rail transportation, 1840–2020. *Applied Energy* **367**, 123344 (2024).
- [6] a. R. Louf, C. Roth, M. Barthelemy, Scaling in transportation networks. *PLoS One* **9**(7), e102007 (2014).  
b. M. Barthelemy, *Spatial Networks: A Complete Introduction: From Graph Theory and Statistical Physics to Real-World Applications*. Springer Nature (2022).
- [7] E. Emery, H. Bercegol, N. Jonquieres, S. Aumaître, Complex Network Analysis of Transmission Networks Preparing for the Energy Transition: Application to the Current French Power Grid. to appear in *The European Physical Journal B*.

**CONTACTS :** Hervé Bercegol, 06 17 91 24 79, [herve.bercegol@cea.fr](mailto:herve.bercegol@cea.fr)  
Sebastien Aumaître, 01 69 08 74 37, [sebastien.aumaitre@cea.fr](mailto:sebastien.aumaitre@cea.fr)  
Émile Émery, 01 69 08 73 36, [emile.emery@cea.fr](mailto:emile.emery@cea.fr)