

Titre : Décarbonation du transport maritime mondial : Simulation énergétique long terme de la flotte mondiale en vue de l'élaboration de scénarios de transition

Mots clés : Flotte marchande, modélisation énergétique, scénarios de décarbonation, optimisation technico-économique, approche stochastique

Résumé : Le transport maritime doit opérer une profonde transition énergétique pour atteindre la neutralité carbone, objectif fixé par l'Organisation Maritime Internationale à l'horizon 2050. Cependant définir des trajectoires de décarbonation reste complexe face à l'hétérogénéité de la flotte, la diversité des leviers et de fortes incertitudes technico-économiques. Dans ce contexte, les outils d'aide à la décision s'avèrent précieux pour guider les politiques publiques. Cette thèse développe un modèle associant la dynamique de renouvellement de la flotte à un module d'optimisation technico-économique pour simuler l'adoption de technologies bas carbone. Une approche stochastique permet de capturer les incertitudes en générant des milliers de

scénarios. Une première application sur la flotte mondiale de porte-conteneurs démontre que l'atteinte des objectifs de l'OMI ne peut reposer uniquement sur l'intégration de nouveaux navires décarbonés, en raison d'une forte inertie structurelle. C'est pourquoi le démantèlement anticipé et le retrofit doivent jouer un rôle majeur. De plus, face à une demande massive en e-carburants, l'amélioration de l'efficacité énergétique des navires présente un intérêt crucial. Enfin, si l'électrification par batteries offre un potentiel intéressant au prix d'escales plus fréquentes pour la recharge, elle soulève des questions au regard de la flexibilité opérationnelle des navires et du développement des infrastructures portuaires.

Title : Shipping decarbonisation: Long term energy simulation of the global fleet for the development of transition pathways

Keywords : Global merchant fleet, energy modelling, decarbonisation scenarios, techno-economic optimisation, stochastic approach

Abstract: Maritime transport must undergo a profound energy transition to achieve carbon neutrality by 2050 under the direction of the International Maritime Organisation (IMO). However, decarbonisation trajectories remain elusive due to fleet diversity, a multiplicity of mitigation levers, and deep techno-economic uncertainties. In this context, decision-support tools provide valuable insights to guide public policies. This thesis develops a model coupling fleet renewal dynamics with a techno-economic optimisation module to simulate the adoption of low-carbon technologies within the fleet in response to varying technical, economic, and regulatory parameters. A stochastic framework is integrated to capture uncertainties surrounding these inputs by generating

thousands of scenarios. A first application to the global container ship fleet demonstrates that achieving the IMO objectives cannot rely solely on fleet renewal through decarbonised newbuilds due to significant structural inertia. Instead, early decommissioning and retrofitting must play a pivotal role. Furthermore, as the projected demand for e-fuels to replace fossil energy is massive, accelerating energy efficiency improvements yields significant benefits. Finally, while direct electrification via batteries exhibits potential under the assumption of an increased number of charging stops, it raises critical questions regarding vessel operational flexibility, and the development of port charging infrastructure.