



Supply chains en Z.F.E : le transport fluvial sous tension

Travail en Cours

Marie Douet¹, Romuald Lacoste²

¹ CEREMA (France)

² CY Cergy Paris Université, Cerema, MATRIS (France)

Favori du report modal depuis plusieurs années, le transport fluvial fait face à un défi majeur de verdissement : la Commission Centrale pour la Navigation Rhénane, l'Union Européenne, les Engagements pour la Croissance Verte du gouvernement français définissent des objectifs de verdissement des flottes. Prestataire pour la logistique urbaine, il rencontre également l'influence des contraintes réglementaires des zones à faibles émissions (ZFE). La recherche examine les possibilités –actuelles et futures- du transport fluvial susceptibles d'aider les logisticiens à satisfaire aux exigences réglementaires et porte un regard critique sur les exigences de l'environnement réglementaire et les capacités effectives des éco-systèmes fluviaux.

Mots clés : ZFE ; transport fluvial ; transition ; supply chain

Introduction

Favori du report modal depuis plusieurs années, le transport fluvial est également identifié, depuis une époque récente, comme un contributeur pertinent à la logistique urbaine. Considéré comme un mode économe en énergie, il reste toutefois très dépendant du pétrole (gazole non routier). Et il fait face à un défi majeur de verdissement, avec l'obligation d'utiliser rapidement des énergies alternatives. En effet, la Commission centrale pour la navigation rhénane (CCNR) et l'Union Européenne ont établi des

stratégies de verdissement des flottes fluviales¹. Qu'en est-il en France ? A l'heure de la mise en œuvre des ZFE par les grandes métropoles, quelles sont les perspectives de transition vers une réduction drastique des émissions polluantes, et quels sont les bienfaits conséquents du recours au transport fluvial pour la desserte des métropoles concernées ?

La présentation comprend quatre sections. La section 1 présente le contexte et la méthodologie adoptée. La deuxième présente l'environnement réglementaire international et national auquel le transport fluvial est soumis, qui offre aux acteurs et parties prenantes une vision générale vers laquelle ils doivent tendre, et esquisse pour cela des trajectoires possibles ; la troisième examine les contraintes issues des réglementations locales, tout particulièrement celles des ZFE, qui modifient le contexte d'action des acteurs du transport fluvial. Soucieux de son intégration optimale dans les supply chains, les acteurs doivent faire évoluer le transport fluvial ainsi mis sous tension en relevant certains défis, développés dans la quatrième section.

Contexte et méthodologie

Depuis plusieurs années, des expérimentations de logistique urbaine fluviale existent, notamment en Ile de France, à Strasbourg et à Lyon. Bien que la rentabilité privée de chaînes logistiques avec maillon fluvial soit encore malaisée, la pertinence du transport fluvial pour la desserte des villes est reconnue aujourd'hui, et les expérimentations nouvelles bénéficient d'un soutien des pouvoirs publics, notamment via des appels à projets. Toutefois, les émissions des moteurs thermiques des péniches, pousseurs, qui brûlent du gazole non routier et polluent l'atmosphère pourraient disqualifier le transport

¹ CCNR, « Possibilités de réduire la consommation de carburant et les émissions de GES en navigation intérieure », rapport du comité de règlement de visite pour la session d'automne 2012, annexe 2 du protocole 2012-II-4 de la CCNR, 29 novembre 2012

fluvial pour la desserte des zones urbaines. D'où l'importance et l'urgence du verdissement du transport fluvial.

L'instauration de ZFE répond à une urgence sanitaire. Dans plusieurs agglomérations françaises, les seuils réglementaires et les recommandations de l'Organisation Mondiale de la Santé en matière de qualité de l'air sont régulièrement dépassés, mettant ainsi en danger la santé des citoyens. La loi oblige donc certaines agglomérations à mettre en place des ZFE. Les restrictions de circulation imposées (types de véhicules, horaires, dérogations) varient d'une agglomération à l'autre. La vignette Crit'air, obligatoire pour circuler dans les ZFE, classe les véhicules selon leurs émissions polluantes en particules fines et en oxydes d'azote. Etrangement, (ou non, puisque les villes concernées par une voie navigable sont très peu nombreuses), les exigences des ZFE ne concernent que le transport routier –de fait-. Et pourtant, nous arguons que les ZFE à visée routière peuvent avoir une influence sur le transport fluvial. Il faut insister sur le fait que ZFE et vignette Crit'air n'ont pas pour objet de contrôler les émissions de gaz à effet de serre (GES).

Dans ce contexte, le transport fluvial est sous tension à cause d'exigences issues de 4 échelons institutionnels. Pour son propre verdissement, il est sous tension d'exigences internationales (1^{er} et 2^{ème} échelons institutionnels) et d'exigences nationales (3^{er} échelon institutionnel) : les experts ont clairement identifié des obstacles difficiles à franchir dans les délais impartis, qui nécessitent d'apporter un soutien au secteur. Et, à cause du verdissement du transport routier imposé par des réglementations locales (4^{ème} échelon institutionnel), il est sous tension de deux façons :

- Dans un premier temps, les exigences des ZFE pourraient inciter les chargeurs soucieux d'éviter les contraintes de circulation Crit'air à recourir au transport fluvial : hausse de la demande qui résulte de la fuite du mode le plus réglementé

vers le mode le moins réglementé. L'offre de logistique urbaine fluviale est-elle en mesure d'y répondre ? Ne serait-il pas opportun de réfléchir à une gamme de bateaux fluviaux spécifiquement conçus pour les palettes et les colis ?

- Dans un second temps, le transport fluvial ne sera-t-il pas incité à devancer un possible élargissement des exigences ZFE à tous les modes, et à devenir un prestataire urbain aussi prisé que le transport routier ?

Dans ce contexte de transition écologique, transporteurs fluviaux et chargeurs sont amenés à modifier leurs pratiques, leurs choix opérationnels, leurs coopérations usuelles, en un mot, leurs routines organisationnelles. D'un point de vue académique, les routines sont considérées non seulement comme un facteur de stabilité mais aussi comme un facteur de flexibilité (Feldman et Pentland, 2003, Feldman et al, 2024). En tant que schémas répétitifs d'actions, elles présentent en effet une inertie qui diffère l'adaptation aux pressions de l'environnement. Toutefois, les perturbations de routines, telles que de nouvelles contraintes réglementaires, en brisant cette inertie, créent des opportunités d'évolution pour insérer de nouvelles habitudes favorables aux orientations politiques (dont celle de verdir la mobilité, par exemple). Par ailleurs, en matière d'évolution des routines, très peu de chercheurs ont examiné le cas de la logistique fluviale (Vaillant, 2014). Et pour cette activité, comme le soulignent Zheng et Kim (2017, 1), il s'agit réellement de 'rethinking business-as-usual'. Il nous a donc semblé pertinent d'adopter l'approche "routines" pour orienter les questions posées lors d'entretiens. Après une revue de littérature académique et un examen de la presse professionnelle, une série d'entretiens qualitatifs semi-directifs est en cours, auprès d'acteurs et d'experts concernés par la logistique urbaine fluviale : chargeurs, transporteurs, gestionnaires d'infrastructures, administrations métropolitaines et experts du programme Interlud+, institutions publiques. Dans chaque entretien, des questions concernent l'évolution des

contraintes (réglementaires, techniques, foncières, commerciales), l'apparition de nouvelles offres de services (évolution des offres des transporteurs traditionnels, entrée de nouveaux entrepreneurs, conditions et solutions pour le développement de l'intermodalité à l'échelon urbain), et les nouveaux choix organisationnels des chargeurs capables de saisir l'opportunité de verdir leurs achats logistiques. Parce que les expérimentations de logistique fluviale y sont variées, et parce que la pollution de l'air élevée y impose l'instauration de ZFE, nous avons choisi de nous intéresser à Paris, Strasbourg et Lyon .

Exigences de l'environnement réglementaire national et international

Trois échelons institutionnels sont concernés : la Commission Centrale pour la Navigation Rhénane, l'Union Européenne, et l'Etat français. En matière de transport fluvial européen, la CCNR constitue l'institution de référence et l'organisme précurseur. On peut dire qu'elle « donne le la » en lançant les initiatives. L'Union Européenne et l'Etat français suivent.

Pour la transition énergétique, conformément au mandat ministériel fixé par la déclaration de Mannheim le 17 octobre 2018 –par les 5 états membres-, la CCNR a élaboré une feuille de route qui définit des objectifs pour 2035 et 2050, à partir de l'année de référence retenue, qui est 2015 (CCNR, 2022). En 2035, les émissions de GES et autres émissions polluantes devront avoir été réduites de 35% par rapport à 2015 ; en 2050, les émissions de GES et autres émissions polluantes devront avoir été supprimées autant que possible (en pratique, réduction de 90%).

La réduction des émissions nocives constitue un travail difficile. La CCNR prône donc en premier lieu la réduction de la consommation d'énergie par différents moyens :

- Amélioration de l'efficacité propulsive grâce à des systèmes de propulsion modernes

- Optimisation hydrodynamique
- Meilleure utilisation des bateaux
- Navigation intelligente
- Meilleure intégration du transport fluvial dans la logistique

Selon la CCNR, il faut également apprendre des moyens de transition énergétique mis en œuvre dans les autres modes de transport, et, pour ne pas fausser la concurrence (au possible détriment du transport fluvial), il faut tenir compte du contexte multimodal. La CCNR souligne un point crucial : la taille relativement réduite du marché européen des bateaux fluviaux implique que des solutions techniques spécifiques au transport fluvial ne seront pas viables. D'où la nécessité de trouver des synergies avec les innovations développées pour le transport maritime et pour d'autres secteurs économiques.

La feuille de route exclut de son périmètre la phase amont de la production du service de transport, la pollution sonore, et la pollution de l'eau : il s'agit d'une approche « du réservoir à l'hélice ». La CCNR a établi trois scénarios: un scénario nommé « statu quo », un scénario nommé « transition conservatrice » et un scénario nommé « technologies innovantes ». Les deux derniers permettent d'atteindre les objectifs de la déclaration de Mannheim. La CCNR propose 18 mesures qu'il serait bon de prendre pour lever tous les obstacles économiques, techniques, sociaux/humains et réglementaires. Un rapport d'avancement sera publié en 2025.

Au niveau de l'Union Européenne, de multiples textes évoquent la transition écologique et, à l'occasion, le transport fluvial. Par exemple, une communication de la Commission Européenne intitulée « Stratégie thématique sur la pollution

atmosphérique »², invite à de nouvelles réductions d'émissions de la part des transports, des ménages et des secteurs énergétique, agricole et industriel. L'Union Européenne finance également des programmes de recherche abordant les problèmes de transition écologique du transport fluvial, tels le programme Platina, qui soulignent les avantages de l'interconnection entre le système rhénan et le système danubien (Mihic, Golusin et Mihajlovic, 2011). Traditionnellement, l'Union Européenne suit les recommandations de la CCNR. Pour le sujet qui nous préoccupe, c'est un règlement non spécifique au transport fluvial qui fait référence chez les professionnels : le règlement 2016/1628 du 14 septembre 2016. Ce règlement, très « motoriste », impose des limites d'émission de gaz polluants et de particules polluantes aux moteurs à combustion interne destinés à plusieurs types d'engins mobiles non routiers (EMNR), dont les bateaux fluviaux.

Dans ce règlement, des limites d'émission dénommées « phase V » visent à réduire les émissions de polluants atmosphériques, tels que les particules polluantes, les précurseurs de l'ozone dont les oxydes d'azote (NOx) et les hydrocarbures. Le calendrier de l'annexe III prévoyait que tous les moteurs mis sur le marché devaient répondre à ces exigences entre 2018 et 2020, selon les types. Aujourd'hui, en 2024, tous les moteurs mis sur le marché doivent donc répondre à ces exigences. Toutefois, comme la durée de vie du capital concerné –bateaux, moteurs- est longue (plusieurs décennies), les effets seront longs à se faire sentir.

Au niveau national, le ministère chargé des transports travaille actuellement à la mise en œuvre du volet transport fluvial des engagements pour la croissance verte (ECV), document qualifié de « droit souple » signé entre l'Etat et 13 parties prenantes le 6 juillet 2021. L'article 2 décline les engagements et les actions des co-signataires en 5 axes :

² Communication de la commission au Conseil et au Parlement Européen, COM (2005) 446

- Définir une trajectoire de transition énergétique des flottes professionnelles sur 10 ans
- Réduire les émissions polluantes du transport fluvial avec comme priorité les flottes exploitées ou transitant en zones urbaines denses .
- Déployer l'alimentation électrique à quai pour les groupes électrogènes de bord
- Préparer le déploiement des solutions énergétiques bas carbone (objectif neutralité carbone en 2050)
- Maîtriser l'empreinte écologique de la navigation intérieure (au-delà des émissions polluantes).

Des objectifs chiffrés dispersés dans le texte sont fixés de façon un peu hétéroclite. Certains engagements relèvent de l'Etat, d'autres relèvent des parties prenantes signataires.

Au final, les 3 échelons institutionnels diagnostiquent l'existence d'obstacles difficiles à franchir dans les délais impartis et identifient certaines conditions d'accompagnement : étroitesse du marché des moteurs neufs, longue durée de vie de l'actif, freins juridiques, besoin d'un engagement des collectivités locales pour le soutage et la libération de zones bord à quai, besoin d'aides financières et soutien de l'Etat, soutien via les marchés publics, etc. Plusieurs chercheurs leur font écho, en particulier sur la question du financement des infrastructures (Pratas et al, 2023, Diziain et al, 2014).

Exigences de l'environnement réglementaire local

Actuellement, c'est l'instauration des ZFE qui constitue la principale source de réglementation locale. Leur mise en œuvre repose sur l'usage de la vignette Crit'air, créée par un arrêté du 21 juin 2016 ; celui-ci établit la nomenclature des véhicules classés selon leur niveau d'émission de polluants atmosphériques. Les véhicules électriques et hydrogène sont classés « verts » sans numéro. Les véhicules gaz, hybrides rechargeables

sont classés Crit'air 1. Depuis un arrêté du 11 avril 2022, les poids lourds, autocars et autobus roulant au biodiesel (B 100) sont classés en Crit'air 1 si leur motorisation B 100 est irréversible. Les véhicules très anciens, antérieurs à 2001 pour les poids lourds, ne disposent pas de vignette Crit'air³.

Deux lois encadrent l'existence des ZFE, qui n'imposent aucune obligation aux poids lourds ni aux véhicules Crit'air 2:

- Loi d'orientation des mobilités (LOM) de décembre 2019⁴, qui rend obligatoire les ZFE dans les métropoles où les normes de qualité de l'air ne sont pas respectées.
- Loi climat et résilience du 22 août 2021⁵, qui instaure l'obligation de mettre en place une ZFE dans les agglomérations de plus de 150 000 habitants situés sur le territoire métropolitain d'ici le 31 décembre 2024. La loi précise le calendrier :
 - Crit'air 5 interdits au plus tard le 1^{er} janvier 2023
 - Crit'air 4 interdits au plus tard le 1^{er} janvier 2024
 - Crit'air 3 interdits au plus tard le 1^{er} janvier 2025

Des obligations plus précises proviennent des réglementations locales, librement décidées par les métropoles, le plus souvent suite à des concertations (cf cas de Lyon). Et donc, en pratique, la plupart des ZFE existantes visent à la fois les véhicules légers (automobiles, véhicules utilitaires légers) et les poids lourds. Chaque métropole définit librement le périmètre géographique de la ZFE. Le tableau 1 compare les exigences des ZFE des 3 métropoles étudiées.

Insérer ici le tableau 1

³ Source : Ademe, fiche action extraite du guide de l'engagement volontaire en faveur de la logistique urbaine, page 6, mai 2022.

⁴ Article 86

⁵ Article 119

Outre la mise en place récente des ZFE dans les grandes agglomérations, les restrictions horaires d'accès aux centres-villes pour la livraison, qui existent depuis plusieurs années, jouent également en faveur du transport fluvial. Par exemple, pour répondre à ces contraintes, à Strasbourg, Urban Logistic Solutions (ULS) a imaginé une organisation innovante pour le transport de petits colis, combinant voie navigable et cyclo-logistique, permettant ainsi de livrer toute la journée. Selon le directeur du développement, c'est le renforcement des restrictions qui leur a permis de se développer⁶. De même, en Ile de France, l'organisation des jeux olympiques de 2024 mise sur la logistique urbaine fluviale à cause des restrictions de la circulation routière et des enjeux de sécurité pour l'approvisionnement, le transport de passagers et l'évacuation des déchets.

De fait, les exigences de réduction des émissions polluantes résultant des ZFE excèdent celles du règlement EMNR, comme le montre le tableau 2.

Insérer ici tableau 2

Le ratio entre les quantités limites d'émissions du règlement et les quantités limites de la vignette Crit'air 1 varie de 1,46 pour les hydrocarbures à 4,5 pour l'oxyde d'azote. On peut donc considérer que les exigences des ZFE inscrivent le transport fluvial urbain dans une dynamique de réduction supplémentaire, qui vient conforter la trajectoire souhaitée par la feuille de route de la CCNR : réduction des émissions de 90% d'ici 2050. Face aux tensions induites sur le transport fluvial par la mise en place des ZFE, comment relever les défis ?

⁶ Visite d'ULS à Strasbourg dans le cadre de la journée des référents logistique urbaine – 17 Octobre 2023

Le transport fluvial sous tension : défis à relever

Potentiellement, ces exigences routières des ZFE déclenchent/renforcent un mouvement de report modal des chargeurs vers le mode fluvial libre des contraintes Crit'air, pour les livraisons urbaines. Les défis à relever mettent en jeu les moyens techniques et les moyens organisationnels.

Les moyens techniques

Face à cette hausse de la demande, l'offre de cale est-elle suffisante et qualitativement pertinente en termes de besoins logistiques, de motorisations vertes, de protection de l'environnement ? Une évolution des moyens semble nécessaire, pour laquelle il faudrait s'efforcer de promouvoir des bateaux adaptés à la logistique urbaine fluviale, maniables, adaptés aux marchandises diverses, et moins polluants.

Des expériences menées à Paris, Lyon et Strasbourg prouvent que de nombreux acteurs ont l'audace d'innover et s'engagent dans cette voie. Plusieurs exemples peuvent être cités. La société Blue Line Logistics exploite une barge « Zulu » à pont plat dotée d'une grue permettant de transporter 198 palettes, de les charger/décharger sur des quais ou sur des berges non aménagées, ce qui présente un avantage énorme en matière de distribution urbaine. Sogestran proposera la Zulu 6 avec une motorisation à hydrogène pour naviguer sur la Seine au printemps 2024⁷. ULS envisage la fabrication de caisses empilables adaptées au transport fluvial et au vélo cargo, et la construction de ses propres barges conçues pour empiler les caisses comme des conteneurs maritimes. Le projet européen Flagships de l'Union Européenne soutient le déploiement de deux navires à pile à combustible sur le Rhône et en Norvège. Une des réponses à l'appel à innovation Mobilité des Jeux de Paris 2024 repose sur l'idée de Cubes Pixels adaptés aux exigences

⁷ <https://www.haropaport.com/fr/actualites/le-zulu-6-cet-automoteur-pas-comme-les-autres>

de l'intermodalité urbaine ; encore plus innovateur, le projet FinX prévoit de remplacer l'hélice des bateaux par une membrane ondulante inspirée du mouvement des nageoires des poissons.

Sur ce point précis de l'évolution des équipements de propulsion et de navigation, les transporteurs fluviaux pourraient anticiper un possible élargissement des contraintes Crit'air au transport fluvial.

Face à cette hausse de la demande, l'intermodalité fleuve/véhicule urbain dispose-t-elle des équipements nécessaires pour se déployer ? En premier lieu, elle a besoin de quais, de zones bord à quai, et de moyens de manutention. Parfois, les zones bord à quai sont trop étroites ; parfois, elles sont inutilisables car gentrifiées ; parfois, les riverains rejettent l'activité fluviale ou exigent des aménagements paysagers qui alourdissent les coûts. En second lieu, cette intermodalité a besoin de moyens de transport pour le kilomètre final, soit des véhicules routiers « propres » soit des vélos-cargos. Tous ces équipements ont un coût, étroitement lié aux solutions organisationnelles.

Les moyens organisationnels

Face à cette hausse de la demande, la logistique urbaine fluviale ne peut faire l'économie d'une intermodalité urbaine spécifique et performante, associant transport fluvial et transport urbain du dernier kilomètre. Dans les expériences menées en France, la livraison du dernier kilomètre fait appel à des véhicules électriques (Ikea et Franprix à Paris) ou à des vélos cargos (ULS à Strasbourg puis bientôt Lyon ; Fludis à Paris).

Deux questions se posent : qui est l'initiateur du service, et qui coordonne les deux maillons de cette intermodalité ? Les premiers entretiens laissent entrevoir qu'aucun cas de figure n'est à exclure, et qu'il n'y a pas un type unique d'acteur décisif pour la mise en place de nouvelles organisations logistiques avec maillon fluvial. L'initiateur du service peut être un chargeur, un transporteur routier traditionnel, un transporteur fluvial

traditionnel, ou bien un entrepreneur nouvel entrant. Par exemple, pour Franprix, l'initiative provient d'un chargeur qui, voulant éviter la congestion du centre de Paris, a sollicité en 2012 le transporteur routier Dentrenssangle (depuis, vendu à XPO), ayant la qualification de commissionnaire de transport, et un transporteur fluvial. Les dirigeants d'ULS et de Fludis sont des nouveaux entrants ; ils ne sont ni chargeurs, ni transporteurs routiers, ni transporteurs fluviaux tandis que Sogestran et Blue Line Logistics sont des prestataires fluviaux . Enfin, il faut savoir qui est le mieux placé, le plus performant, pour assurer la livraison du dernier kilomètre urbain ; cela peut être un opérateur confirmé de logistique urbaine.

On entrevoit que les changements de routines auxquels les différents acteurs sont confrontés renforcent la solidarité des différents maillons de la supply chain, parce que les chargeurs et transporteurs renforcent leur collaboration.

Face à cette hausse de la demande et compte tenu des contraintes foncières des métropoles qui limitent à la fois l'espace bord à quai et les surfaces recherchées pour la logistique, le transport fluvial peut également offrir un service flottant d'entreposage/cross-docking. Ainsi Fludis déploiera, dans le cadre de l'appel à innovation Mobilité des Jeux de Paris 2024, une barge servant d'entrepôt et de centre de tri flottant, sur les territoires de Saint Denis et de l'Ile-Saint-Denis. Dans le même ordre d'idées, à cause de la saturation des points de collecte des déchets au sein de la métropole de Lyon, Voies Navigables de France s'est associé à la Compagnie Nationale du Rhône et aux Groupes Suez et Sogestran pour expérimenter une solution innovante de déchèterie fluviale.

Conclusion

Alors que les politiques publiques du transport exigent des effets à court terme, les entreprises doivent composer avec une plus lente adaptation des écosystèmes. Elles

planifient et prévoient des changements qu'elles peinent à financer dans le temps imparti ; c'est pourquoi la question du financement, cruciale pour les transporteurs fluviaux, requiert un soutien des pouvoirs publics. Par ailleurs, pour la logistique urbaine fluviale, transporteurs et chargeurs sont conduits à initier de nouvelles formes de collaborations, ce qui ne peut se faire du jour au lendemain, parce que cela induit des modifications notables de routines organisationnelles ; néanmoins, des acteurs entreprenants ont commencé à relever les défis. Il faudra probablement encore plusieurs années pour savoir si un modèle d'organisation logistique particulièrement performant s'impose, et pour savoir si les caractéristiques territoriales sont prégnantes. Quoiqu'il en soit, nous pouvons confirmer que, même indirectement, les exigences (routières) des ZFE accélèrent une dynamique de verdissement de la flotte fluviale, et confortent les transporteurs fluviaux dans leur route vers le cap 2050 indiqué par la CCNR.

Références

- CCNR (Commission Centrale de la Navigation Rhénane). 2022. *Feuille de route de la CCNR pour la réduction des émissions de la navigation intérieure*. Strasbourg.
- Diziain, D., E. Taniguchi, and L. Dablanc. 2014. "Urban logistics by rail and waterways in France and Japan." *Procedia Social and Behavioral Sciences* 125: 159-170
- Feldman, M., B. T. Pentland (2003) "Reconceptualizing organizational routines as a source of flexibility and change", *Administrative Science Quarterly*, 48 (1).
- Feldman, M., Pentland, B. T., d'Adderio, L., Lazaric, N., (2024) "Beyond routines as things: introduction to the special issue on routine dynamics", *Organization Science*, 27 (3) : 505-513.
- Mihic, S., Golusin, M., Mihajlovic, M., (2011) "Policy and promotion of sustainable inland waterway transport in Europe-Danube River" *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 15 (2011) 1801-1809.

- Pratas, J., S. Garrido and C.Pimentel. 2023. "Sustainable Inland Waterway Transportation Systems: framework proposal". *European Journal of Sustainable Development*, 12 (4): 40-56
- Vaillant, Ludovic. 2014. "L'apprentissage performant du transport fluvial: quel accompagnement du projet de canal Seine-Nord Europe?" Thèse en sciences économiques et sociales, Université de Lille.
- Zheng, Yunzhuang., and Amy M. Kim. 2017. "Rethinking business-as-usual: Mckenzie River freight transport in the context of climate change impacts in northern Canada". *Transportation Research Part D: Transport and Environment* 53: 276-289.

Tableaux

Tableau 1. Exigences des ZFE: comparaison entre les 3 métropoles

Tableau 2. Exigences Crit'air et exigences du règlement EMNR