

Louvain School of Management

**Le transport fluvial de
marchandises en Wallonie.
Contexte et impact de l'ouverture
du Canal Seine-Nord Europe.**

Auteur : William Longval
Promoteur(s) : Bart Jourquin
Année académique 2023-2024
Ingénieur de Gestion : Supply Chain Management & Transport

Declaration Regarding AI Tool Usage in Master's Thesis

During the preparation of this master's thesis, the author utilized ChatGPT for the following purpose:

1. Structure idea
2. Rephrasing

After using ChatGPT, the author diligently reviewed and edited the content produced by the tool. We take full responsibility for the final content presented in this thesis.

By signing this declaration, we affirm that the content of this master's thesis reflects our original work, augmented by the responsible use of AI.

Résumé

Bien que lent, le transport fluvial de marchandises est reconnu et défendu pour sa capacité à transporter massivement, en sécurité, en toute fiabilité et avec un faible impact environnemental. Longtemps délaissé au profit du transport routier, il retrouve aujourd'hui de l'intérêt grâce à des coûts externes moins élevés par tonne transportée, particulièrement en ce qui concerne la congestion et les émissions de gaz à effet de serre, deux enjeux majeurs de notre époque.

Les utilisateurs du transport fluvial ont pointé plusieurs problématiques et rappelé que certaines solutions existaient déjà. Les goulets d'étranglement, qui diminuent le nombre de tonnes pouvant être transportées par les péniches sur certains segments, sont identifiés et les responsables travaillent à en augmenter le gabarit. Les autorités portuaires et les directions des intercommunales collaborent désormais pour éviter que des entreprises n'ayant pas de potentiel pour réaliser du transport fluvial s'installent en bord de voie d'eau. Le manque de bateliers reste un problème auquel l'automatisation des bateaux pourrait offrir une solution, bien qu'elle ne fasse pas l'unanimité parmi les acteurs du milieu interrogés. Pour permettre au transport fluvial d'accueillir des flux supplémentaires et de devenir plus compétitif par rapport au transport routier, la question la plus cruciale à résoudre est l'ouverture permanente des écluses. Cette ouverture réduirait le temps de transport, et ipso facto son coût. Cette diminution couplée à la fiabilité du transport fluvial la rendrait plus compétitive face au transport routier.

L'ouverture du Canal Seine-Nord Europe permettra aux péniches à grand gabarit de relier Paris aux ports d'Anvers et de Rotterdam. Elle boostera le transport fluvial sur la majorité des cours d'eau wallons avec des pics atteignant une augmentation jusqu'à 23,3%. Les estimations annoncent une baisse des flux de marchandises par transport routier jusqu'à 8% en Wallonie, permettant une réduction des coûts externes dus à la congestion, aux accidents, aux nuisances sonores et aux émissions de gaz à effet de serre. Ces chiffres ont été estimés à l'aide du logiciel NODUS mais il est à signaler que ces résultats sont basés sur des données datant de 2010 avec un découpage territorial en NUTS-3 permettant la lecture des données mais diminuant la précision. Ce sont aussi des résultats tirés d'un modèle simplifié et dont il n'existe pas la possibilité de valider les estimations.

Remerciements

Je tiens à remercier mon promoteur Monsieur Bart Jourquin pour les précieux conseils et sa réactivité lors de la réalisation de mon mémoire.

Je souhaite remercier également Madame Christelle Kozak, directrice du Port Autonome du Centre et de l'Ouest, ainsi que toute son équipe (Ionela Axinte, Sullivan Brion, Sabrina Carlier et Cathy Sicorello) pour tous les conseils, perspectives et contacts avec les acteurs du transport fluvial lors de mon stage.

Un grand merci à toutes les personnes qui ont accepté d'être interviewées et qui ont partagé avec moi beaucoup d'informations sans lesquelles ce mémoire n'aurait pas eu la même valeur. Merci à Vincent Brassinne, Jeremy Cambier, Jean-Benoit Collée, Henri Dufour, Geneviève Finet, Juan Furnes, Pascal Moens et Pascal Roland.

Enfin, un grand merci à mes parents pour la relecture et le soutien moral.

Table des matières

Declaration Regarding AI Tool Usage in Master’s Thesis	I
Résumé	II
Remerciements.....	III
Table des matières.....	IV
Abréviations.....	VI
Glossaire	VII
Table des matières - Tableaux.....	IX
Table des matières – Figures	IX
Partie I : Introduction	1
Partie II : Le transport fluvial	2
2.1. Définition.....	2
2.2. Caractéristiques	2
2.3. Historique.....	2
2.4. Organisation	4
2.5. Marchandises transportées.....	6
Partie III : Comparaison avec le transport routier	8
3.1. Qualification des coûts externes.....	8
3.2. Quantification des coûts externes.....	11
3.3. L’intermodalité	12
3.4. Part modale.....	13
3.5. Mesures politiques.....	14
Partie IV : Partie Qualitative	16
4.1. Introduction	16
4.2. Méthodologie.....	16
4.3. Problématiques identifiées.....	17
4.4. Solutions.....	22
4.5 Conclusion.....	25
Partie V : Partie Quantitative.....	26
5.1. Introduction	26
5.2. Le Canal Seine-Nord Europe.....	26
5.3. Méthodologie.....	28
5.4. Analyse des résultats	32
5.5 Limites.....	37

5.6 Conclusion.....	38
Partie VI : Conclusion	39
Partie VII : Bibliographie.....	41

Abréviations

CCNR = Commission Centrale pour la Navigation du Rhin

CE = Commission Européenne

CO₂ = Dioxyde de carbone

COP = Conférence des parties

EVP = Equivalent Vingt Pieds

FBW = Fédération de Batellerie Wallonne

GIEC = Groupe d'experts intergouvernementaux sur l'évolution du climat

GIS = Système d'information géographique

NBP = Canal Nimy-Blaton-Péronnes

NUTS = Nomenclature des Unités Territoriales Statistiques

PACO = Port Autonome du Centre et de l'Ouest

RAVeL = Réseau Autonome des Voies Lentes

RPNR = Règlement de Police pour la Navigation du Rhin

RTE-T = Réseau transeuropéen de transport

SNE = Canal Seine-Nord Europe

SPW (MI) = Service Public de Wallonie (Mobilité et Infrastructures)

VNF = Voies Navigables de France

UE = Union Européenne

Glossaire

Ascenseur à bateau : Construction servant à déplacer un bateau verticalement entre deux plans d'eau de niveau différent.

Crue : Elévation du niveau d'un cours d'eau.

Dépotage : Opération consistant à décharger des marchandises se trouvant à l'intérieur d'un conteneur.

Ecluse : Dispositif conçu pour élever et descendre les bateaux entre des étendues d'eau situées à des niveaux différents sur des cours d'eau et des canaux.

Empotage : Opération consistant à charger des marchandises à l'intérieur d'un conteneur.

Equivalent vingt pieds : Unité approximative de mesure des terminaux et navires porte-conteneurs basée sur le volume d'un conteneur de vingt pieds (6,1 mètres).

Etiage : Niveau moyen le plus bas d'un cours d'eau.

Gaz à effet de serre : Substance gazeuse qui absorbe le rayonnement infrarouge produit par la terre. Considéré comme l'une des causes du réchauffement climatique.

Goulets d'étranglement : Sections du réseau de voies navigables dont les paramètres sont sensiblement inférieurs aux prescriptions visées.

Nœud : Unité de mesure de la vitesse utilisée en navigation. Un nœud = 1,85 km/h.

Part modale : Pourcentage des déplacements effectués ou du volume total transporté (calculé en t-km) réalisés au moyen de l'un ou l'autre mode de transport.

Plateforme multimodale = Hub : Lieu permettant une interconnexion entre les différents modes de transport.

Quai : Lieu aménagé en bordure de voie navigable pour l'amarrage, le chargement et le déchargement des bateaux.

Rupture de charge : Etape pendant laquelle des marchandises transportées par un premier véhicule sont transférées dans un second véhicule, immédiatement ou après une période de stockage.

Terrain mouillé : Terrain avec un accès direct à un quai ou une plateforme multimodale permettant l'utilisation du transport fluvial.

Tirant d'air : Distance entre la surface de l'eau et le point le plus bas d'un obstacle dont le bateau doit passer en dessous (principalement des ponts).

Tirant d'eau : Distance verticale entre la flottaison et le point le plus bas d'un navire.

Tonne-kilomètre (t-km) : Unité de mesure servant à enregistrer les prestations de transport. Elle correspond au déplacement d'une tonne de marchandises sur un kilomètre.

Voies fluviales = Voies navigables intérieures : Toute étendue d'eau, n'appartenant pas à la mer, qui est propre à la navigation de bateaux d'une capacité de transport égale ou supérieure à 50 tonnes et avec une charge normale.

Table des matières - Tableaux

Tableau 1 : Répartition modale du transport de marchandises en Belgique (Strale, 2011).....	13
Tableau 2 : Impact de l'ouverture du Canal SNE sur les flux de marchandises dans le nord de la France	33
Tableau 3 : Impact de l'ouverture du Canal SNE sur les flux de marchandises en Belgique	35
Tableau 4 : Impact de l'ouverture du Canal SNE sur les flux de marchandises sur les cours d'eau reliant Gand et Anvers à Rotterdam	36
Tableau 5 : Impact de l'ouverture du Canal SNE sur les flux de marchandises sur les axes routiers reliant Gand et Anvers à Rotterdam	37

Table des matières – Figures

Figure 1 : Carte des voies fluviales wallonnes (SPW)	5
Figure 2 : Exemple de transport intermodal (Cour des comptes européennes, 2023)	12
Figure 3 : Carte du projet du Canal SNE (VNF, 2020).....	26
Figure 5 : réseau virtuel (Jourquin, 1995).....	29
Figure 6 : Impact de l'ouverture du Canal SNE sur les flux de marchandises dans le nord de la France (NODUS)	32
Figure 7 : Impact de l'ouverture du Canal SNE sur les flux de marchandises en Belgique (NODUS)	34
Figure 8 : Impact de l'ouverture du Canal SNE sur les flux de marchandises vers Rotterdam (NODUS)	36

Partie I : Introduction

Le transport fluvial, autrefois essentiel durant la période industrielle en Wallonie grâce à son réseau dense et sa capacité de massification, a été délaissé après la Seconde Guerre mondiale en faveur des investissements dans le transport routier. Aujourd'hui, sa part modale ne représente que 7% du transport de marchandises contre 84% pour la route (SPW, 2022).

Cependant, face aux défis internationaux posés par le réchauffement climatique et la saturation des infrastructures routières, le transport fluvial de marchandises redevient une alternative attrayante. Moins polluant et plus sûr, il offre une solution potentielle pour désengorger les routes wallonnes.

L'importance de renforcer le transport fluvial en Europe est illustrée par des projets ambitieux tels que le Canal Seine-Nord Europe (SNE). Ce projet vise à connecter le bassin parisien aux grands ports de Belgique et des Pays-Bas, permettant ainsi la circulation libre des bateaux de grands gabarits. Avec des péniches pouvant transporter jusqu'à 4.400 tonnes de marchandises, le Canal SNE promet de transformer le paysage logistique européen. Il est estimé que ce canal pourra acheminer 17 millions de tonnes de marchandises par an, réduisant ainsi le trafic routier de millions de poids lourds sur plusieurs décennies (Canal Seine-Nord Europe).

Ce mémoire s'ouvre par une description du transport fluvial, dans ses caractéristiques et son organisation, en région wallonne. Il aborde ensuite les avantages de la voie d'eau par rapport à la route par une analyse des coûts externes ainsi que leur complémentarité pour réaliser du transport intermodal. Deux dimensions principales du transport fluvial sont ensuite explorées : une analyse qualitative des problématiques rencontrées par les utilisateurs de la voie d'eau et les solutions potentielles pour y remédier, ainsi qu'une analyse quantitative des impacts de l'ouverture du Canal SNE sur les flux de marchandises fluviaux et routiers à l'aide du logiciel NODUS.

Le but de ce mémoire est de répondre à la double question :

- 1) Dans quelle mesure les infrastructures fluviales sont-elles adaptées pour accueillir les flux supplémentaires suite à l'ouverture du canal SNE ?
- 2) Les problématiques rencontrées par les utilisateurs de la voie d'eau sont-elles surmontables pour permettre une augmentation des flux fluviaux en Wallonie et une réduction de la part modale du transport routier au profit du transport fluvial ?

Partie II : Le transport fluvial

2.1. Définition

« Le transport fluvial est un mode de déplacement terrestre par voie d'eau de navigation intérieure (canaux, fleuves et rivières) permettant le transport de marchandises ou de voyageurs » (Ministère de la transition écologique et de la cohésion des territoires, 2019). Il ne faut pas le confondre avec le transport maritime qui est un mode de transport en pleine mer.

2.2. Caractéristiques

La principale caractéristique du transport fluvial est sa massification. Il permet en effet de transporter jusqu'à 9.000 tonnes pour les canaux à plus grands gabarits en Belgique (SPW). Par exemple, un bateau transportant 7.000 tonnes équivaut à environ 280 camions en moins sur les routes. C'est un avantage économique indéniable en termes de coût par t-km mais aussi en termes de coûts externes associés qui seront analysés dans un chapitre suivant.

Les autres caractéristiques sont sa fiabilité, sa sécurité et son faible impact environnemental. Elles seront analysées dans le chapitre comparant le transport fluvial au transport routier.

2.3. Historique

A partir de la seconde moitié du XIX^{ème} siècle, correspondant à l'époque de la révolution industrielle, les voies d'eau artificielles se développent afin de relier les bassins fluviaux entre eux (Strale, 2011). Les entreprises de l'époque s'installent au bord d'une rivière ou d'un canal pour y trouver un moyen de transport commode et un accès facile à l'eau. Les industries telles que les charbonnages, les usines sidérurgiques, métallurgiques et les centrales électriques s'implantent ainsi le long des cours d'eau (Delmer, 1962).

Cependant, après la Seconde Guerre mondiale, des investissements massifs sont réalisés dans le réseau routier. En Belgique, cela conduit à la mise en place de l'un des réseaux autoroutiers les plus denses d'Europe, avec 54,6 km d'autoroutes/km² (Tilly, 2016). Ces nouvelles infrastructures permettent aux entreprises de se délocaliser en périphérie, à proximité des réseaux autoroutiers (Strale, 2011). Ce développement, combiné à la fermeture des entreprises de sidérurgie et de charbon situées aux bords des voies d'eau, entraîne de grandes pertes au transport fluvial (Tilly, 2016).

La route, plus flexible et rapide que le rail et les voies fluviales, devient rapidement le mode de transport privilégié pour les marchandises (Strale, 2011). Depuis cette période d'après-guerre, le transport fluvial est largement délaissé, se traduisant par une diminution drastique des investissements pour le promouvoir et améliorer ses infrastructures. D'ailleurs, la densité de kilomètres d'autoroutes par 100 km² en Belgique a connu une augmentation de 40,9% de 1970 à 2010 (FEBIAC). Il faut attendre 1997 et le protocole de Kyoto, le premier traité international de lutte contre le réchauffement climatique, pour envisager des alternatives moins polluantes. Les récents rapports alarmants du GIEC et la COP 21 de Paris en 2015 ont influencé eux aussi les décisions politiques, notamment dans le secteur du transport, qui représente à lui seul un quart des émissions de gaz à effet de serre de l'Union Européenne (CE, 2019). Depuis les années 2000, le transport fluvial connaît un léger redressement et commence à être pris en compte dans les décisions politiques et les analyses de choix de transport des entreprises.

Historiquement, le marché du transport de marchandises par voies fluviales en Belgique, ainsi qu'en France et aux Pays-Bas, s'organise selon un système appelé « tour de rôle ». Ce système fonctionne comme une bourse d'affrètement où l'offre rencontre la demande. Les bateliers s'inscrivent dans un ordre chronologique, et les sociétés d'affrètement prennent le premier batelier de la liste pour le transport de marchandises. Cela permet de contrôler les prix de transport et de protéger la profession de batelier en empêchant la concurrence entre eux (Beuthe & Jourquin, 1994).

Cependant ce système comporte des inconvénients majeurs. Les sociétés d'affrètement ne peuvent pas refuser le batelier assigné, même en cas de collaboration antérieure problématique, ce qui réduit l'incitation des bateliers à fournir un service efficace (atteindre la destination à temps avec les conditions d'hygiène nécessaires pour préserver la qualité de la marchandise). De plus, cette méthode ne permet pas une optimisation économique : il arrive fréquemment qu'un transport de 700 tonnes doit être divisé en deux bateaux, car le premier de la liste a une capacité maximale de 600 tonnes. Les retours à vide sont également très courants (Ferrer & Lefebvre, 2010). Ces inefficacités réduisent la compétitivité du transport fluvial par rapport au transport routier en pleine expansion.

Les professeurs Beuthe et Jourquin, à l'aide du logiciel NODUS (expliqué ultérieurement dans un chapitre dédié), ont mené une étude calculant la différence entre les coûts de transport réels, selon le système de tour de rôle, et les coûts de transport optimisés, utilisant le bateau au gabarit le mieux adapté et le trajet le plus court. Les résultats montrent que le système de tour de rôle

engendre un surcoût moyen de 19,2 %. Les auteurs concluent que la suppression de ce système entraînerait une baisse des tarifs de 19,2 %, impliquant une augmentation de 9,6 % des t-km transportées par le réseau fluvial, en tenant compte d'une élasticité estimée à -0,5 % (Beuthe & Jourquin, 1994). Ce mode de régulation est supprimé le 1er janvier 2000, libéralisant entièrement le transport fluvial (Fischman & Lendjel, 2010).

2.4. Organisation

La Belgique dispose d'un réseau fluvial d'une longueur de 1.532 kilomètres, ce qui en fait un des pays européens le plus dense en termes de kilomètres de voies fluviales par superficie.

Sur les 770 kilomètres de voies navigables en Wallonie, environ 450 sont utilisés pour la navigation, et seulement 20% du trafic fluvial belge se déroule en Wallonie (Tilly, 2016). Le gabarit des bateaux pouvant naviguer varie en fonction des voies d'eau, influencé par la largeur des voies, ainsi que par des obstacles de franchissement tels que les écluses, les ascenseurs et le plan incliné de Ronquières. Les ponts peuvent également constituer un obstacle au tirant d'air. Il faut encore tenir compte du tirant d'eau, pouvant varier en fonction des conditions météorologiques et affecter la capacité de transport, notamment en période de sécheresse.

Différentes catégories de bateaux sont utilisées pour le transport de marchandises sur les voies navigables belges. Les plus petits, de classe 1, ont une capacité d'environ 300 tonnes, tandis que les plus grands, des convois de classe 6b avec plusieurs barges, peuvent transporter jusqu'à 12.000 tonnes. Près de 60% de la flotte naviguant en Belgique est minimum de classe 4 (1.500 tonnes) et permet donc à la majorité des bateaux de pouvoir naviguer sur tout le réseau. (SPW). Le tableau reprenant les différentes classes se trouve en annexe 1. En 2017, la flotte belge pour le transport de marchandises était composée au total de 1.160 bateaux (ITB).

La figure 1 montre les différents axes fluviaux de Wallonie et l'annexe 2 décrit tous ces axes d'est en ouest ainsi que leur gabarit maximum.

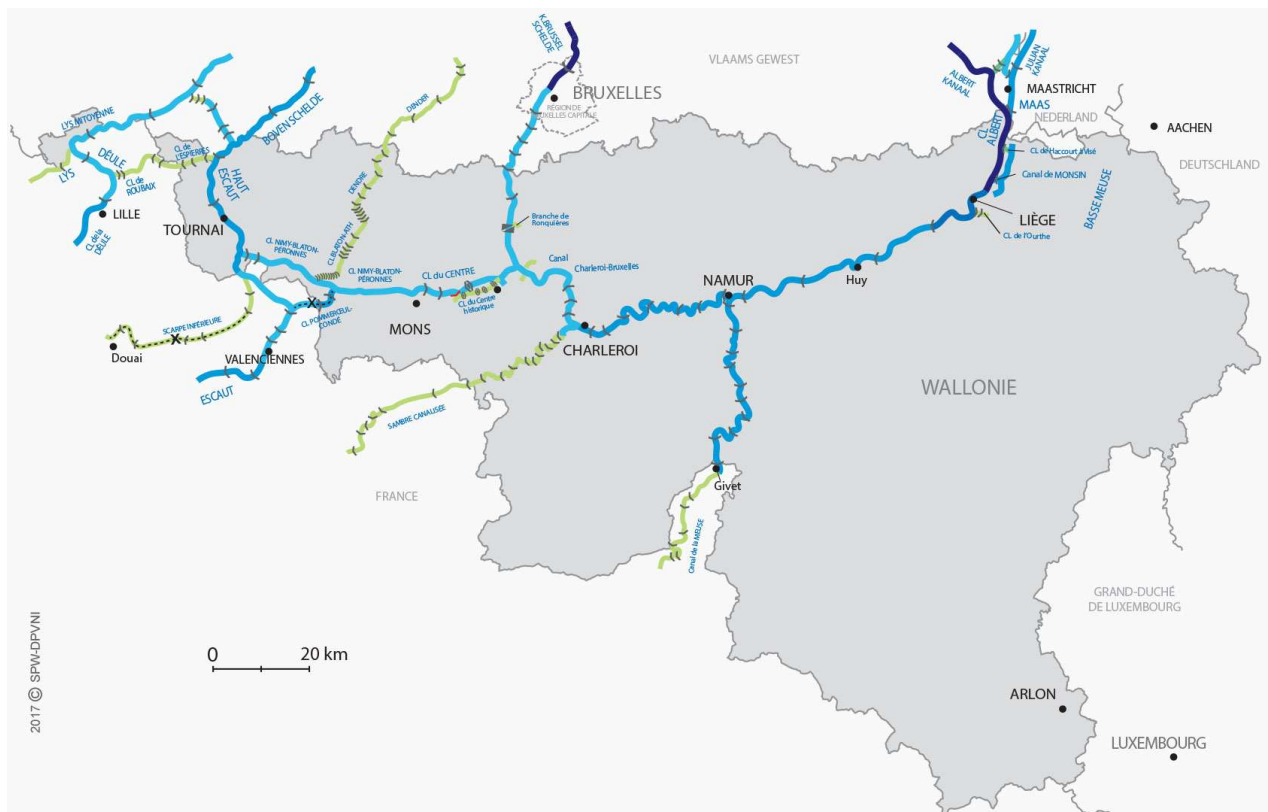


Figure 1 : Carte des voies fluviales wallonnes (SPW)

Ces voies navigables relèvent des compétences régionales. En Wallonie, c'est le Service Public de Wallonie Mobilité et Infrastructures (SPW MI) qui s'occupe de la navigation professionnelle, c'est-à-dire le transport de marchandises et le transport de plus de 12 personnes. Le transport de marchandises est l'activité principale mais ce n'est pas la seule compétence du SPW MI car il a la gestion de tout ce qui touche aux voies navigables. Ses responsabilités incluent :

- L'entretien et le développement des infrastructures telles que les écluses, les ponts, les barrages et autres ouvrages d'art;
- Les travaux d'élargissement afin d'augmenter le gabarit des bateaux pouvant naviguer et, par conséquent, le volume de marchandises transportées ;
- La gestion des crues et des étiages pour réguler le niveau de l'eau ;
- La gestion et l'aménagement des chemins le long des voies d'eau, comme par exemple le RAVeL ;
- La prise en compte des riverains, du paysage et des patrimoines protégés situés à proximité des voies navigables ;

- La diffusion d’avis à la batellerie pour informer les usagers en cas de fermeture ou de restrictions de navigation ;
- Le chômage lié à la navigation (SPF Mobilité et Transports, 2022).

Le SPW MI gère également le transport ferroviaire et routier, bien que ce dernier soit actuellement moins prioritaire afin de promouvoir et améliorer les modes de transport alternatifs à la route. Environ 800 employés du SPW sont liés aux voies navigables (SPW).

Les quais ne sont pas gérés par le SPW mais sont confiés aux quatre ports autonomes wallons : les ports de Liège, Namur, Charleroi et du Centre et de l’Ouest (couvrant tout le Hainaut à l’exception de la région de Charleroi). Les ports ont une mission commerciale visant à attirer des clients pour devenir concessionnaire d’un quai et d’y réaliser du transport fluvial. Les actions de sensibilisation et d’information sur le transport fluvial afin d’essayer de le développer sont menées à la fois par les ports et par le SPW.

La Belgique, ainsi que la France, les Pays-Bas, l’Allemagne et la Suisse, fait partie de la Commission Centrale pour la Navigation du Rhin (CCNR), créée en 1815. Cette organisation joue un rôle règlementaire pour la navigation sur le Rhin, intervenant dans des domaines techniques, juridiques, économiques, sociaux et environnementaux. Même si le Rhin ne traverse pas la Belgique, celle-ci a décidé d’entrer dans cette organisation en 1919 pour protéger ses intérêts économiques et commerciaux, renforcer la position du port d’Anvers et influencer les décisions fluviales en collaborant avec les pays riverains, tout en affirmant sa présence sur la scène européenne post-guerre (CCNR).

2.5. Marchandises transportées

En 2023, 34 millions de tonnes de marchandises ont été transportées par les voies fluviales en Wallonie. A titre de comparaison, 68 millions de tonnes ont été transportées en Flandre (CE & CCNR, 2024). Parmi ces 34 millions de tonnes, douze millions sont destinées à l’exportation et neuf millions sont des importations. Le trafic interne wallon est de deux millions de tonnes tandis que 11 millions de tonnes transitent par les voies fluviales du territoire Wallon (SPW, 2021).

Au cours des cinq dernières années, le volume total de marchandises transportées par voies fluviales en Belgique a diminué d’environ dix millions de tonnes (voir annexe 3). Les principales origines et destinations des marchandises déchargées ou chargées en Wallonie sont

majoritairement la Flandre et les Pays-Bas, en particulier les ports d'Anvers, de Gand et de Terneuzen (Pays-Bas) (voir annexes 4 et 5).

Le transport fluvial permet de déplacer une grande variété de marchandises. Dans les années 1970 et 1980, les marchandises transportées étaient principalement de l'acier et du charbon. Aujourd'hui, il y a une grande diversité dans les types de marchandises transportées.

- Les conteneurs

Les conteneurs sont des caissons métalliques pouvant contenir tous types de marchandises. Normalisés au niveau international, ils sont principalement utilisés pour le transport maritime, c'est-à-dire pour les importations et exportations (principalement par le port d'Anvers). Ce moyen de transport réduit les manipulations intermédiaires et les ruptures de charge (ACM Container). Les conteneurs, appartenant aux compagnies maritimes, peuvent être loués par des entreprises ou des logisticiens. Le système de dépôt de ligne maritime permet aux entreprises de ne pas devoir retourner les conteneurs au port d'origine immédiatement, ce qui évite les retours à vide en attendant d'avoir des marchandises à exporter. Depuis 2021, ce type de transport a diminué en raison du déclin du commerce mondial, conséquence de la crise géopolitique (DVZ Redaktion, 2023).

- Les pièces indivisibles

Les pièces indivisibles sont utilisées principalement pour la construction. Le transport par voie fluviale est particulièrement avantageux pour ces pièces en raison de la capacité de stockage des péniches comparée à celle des camions.

- Les marchandises en vrac

Les marchandises en vrac incluent le sable, les pierres et le gravier. En Belgique, ces marchandises représentent la plus grande part des transports par voies intérieures, avec 37% en Flandre et 44% en Wallonie (environ 14 millions de tonnes par an) alors que les autres types de marchandises ne dépassent pas les cinq millions de tonnes par an (CE & CCNR) (voir annexe 6).

- Autres produits

Il s'agit de produits industriels, pétroliers, agricoles, métalliques, chimiques, ferreux et de fertilisants. Les marchandises périssables, en raison de la lenteur du transport fluvial, ne représentent que 1,6% des marchandises transportées en Wallonie (SPW, 2021).

Partie III : Comparaison avec le transport routier

Après la présentation de l'organisation du réseau fluvial wallon, ce chapitre se consacre sur les caractéristiques du transport fluvial en comparaison au transport routier, en mettant l'accent sur les coûts externes.

Les études montrent que les principales caractéristiques du transport fluvial sont sa capacité à transporter massivement, en sécurité et avec un faible impact environnemental. En revanche, le transport routier possède comme avantage la vitesse et la flexibilité (Daduna, 2021). Par exemple, un trajet Anvers-La Louvière prend entre deux et quatre heures en camion contre plus d'un jour en bateau. En cas de travaux routiers, de nombreuses alternatives qui n'allongent pas significativement le temps de parcours sont disponibles, tandis qu'une écluse fermée peut rallonger le trajet de plusieurs heures, voire d'un jour. C'est par exemple le cas avec l'ouverture programmée en 2024 du Canal Condé-Pommeroeul, petit canal de 11 kilomètres fermé pendant plus de 30 ans afin de réaliser des travaux d'agrandissement de son gabarit, et qui, à sa réouverture, va permettre de faire gagner une demi-journée de temps de trajet à ses utilisateurs (SPW).

La pertinence du choix du mode de transport est fortement liée à la distance parcourue et au nombre de tonnes à transporter. Plus la distance est grande, plus les modes de transports alternatifs sont adéquats car la massification permet d'amortir les coûts par tonne transportée.

3.1. Qualification des coûts externes

Les coûts externes sont définis comme « des coûts qui surviennent lorsque les activités sociales ou économiques d'une (ou d'un groupe de) personne(s) ont un impact sur une autre (ou un autre groupe de) personne(s), et lorsque cet impact n'est pas entièrement pris en compte ou compensé par la première (ou le premier groupe de) personne(s). » (CE, 2019). Pour le transport, on parle des accidents, des nuisances sonores, de la pollution atmosphérique, du réchauffement climatique, de la dégradation des infrastructures et de la congestion.

En Wallonie, les coûts externes liés au transport s'élèvent à 3,7 milliards d'euros en 2021, soit plus de mille euros par habitant (SPW, 2021).

- Les accidents

Les accidents de transport représentent un coût externe important. La CE définit ces coûts comme les coûts sociaux des accidents de la circulation non couverts par une assurance. Cela

inclut les coûts humains, médicaux, administratifs, les dégâts matériels et la perte de production (CE, 2019).

Le transport fluvial est celui qui cause le moins d'accidents en raison de la lenteur des péniches (3 à 9 nœuds ce qui équivaut à 5 à 15 km/h) et le peu de congestion sur les voies fluviales. Bien que le nombre d'accidents dus au transport de marchandises routier en Belgique est en baisse de 23,8% entre 2013 et 2022, il reste encore élevé avec 1.693 accidents (dont 38 décès) en 2022 (VIAS, 2024).

- Les nuisances sonores

Les nuisances sonores sont définies comme des sons non désirés de durée ou d'intensité variées et qui causent des dommages physiques ou psychologiques à l'homme. Le seuil pour définir un bruit comme un nuisance est 50 décibels. Pour les voies fluviales, les coûts externes liés au bruit ne sont pas pris en compte car ils ont généralement lieu dans des zones peu peuplées et sont surtout faibles, presque toujours en dessous des 50 décibels (CE, 2019). La navigation intérieure émet en moyenne 50% de décibels perçus par la population en moins que le transport routier (Planco, 2007).

La méthode la plus fréquemment utilisée pour calculer les coûts externes causés par les nuisances sonores ou tout autre impact dû à la proximité d'une infrastructure de transport est la méthode des prix hédoniques. Cette méthode consiste à comparer la valeur monétaire de deux biens similaires dont l'un des deux a une spécificité par rapport au bruit. Par exemple, un des deux biens peut être situé à côté d'une voie ferrée ou d'une voie d'autoroute et la différence de valeur sera le coût externe dû au bruit.

- La pollution atmosphérique

Les coûts externes dus à la pollution de l'air prennent en compte les effets sur la santé suite à l'inhalation de polluants comme les particules ou les oxydes de nitrogène, les effets sur les cultures, les effets sur les matériaux et bâtiments (corrosion) et les effets sur la biodiversité (CE, 2019).

Certaines études regroupent le réchauffement climatique et la pollution atmosphérique, mais il est plus pertinent de les séparer dans le cadre d'une comparaison entre le transport routier et le transport fluvial. En effet, le transport fluvial émet plus de particules mais beaucoup moins de gaz à effet de serre (SPW, 2021).

- Le réchauffement climatique

Les coûts externes liés au réchauffement climatique sont calculés sur l'impact des émissions de gaz à effet de serre tel que le CO_2 dans l'atmosphère (CE, 2019).

Les transports représentent un quart des émissions des gaz à effet de serre de l'Union Européenne et cette part ne cesse d'augmenter (CE, 2019). En Wallonie, 99% des émissions de gaz à effet de serre du secteur du transport de marchandises sont dues aux seuls véhicules routiers (SPW, 2021). Certes, une péniche émet plus de gaz à effet de serre qu'un camion, mais elle permet de transporter beaucoup plus de tonnes de marchandises en un seul trajet. Si l'on calcule le carburant utilisé par t-km, il est quatre fois moins important pour une péniche que pour un camion (Janjevic et Ndiye, 2014).

- La dégradation des infrastructures

L'usure inévitable des infrastructures utilisées régulièrement, telles que les routes, représente un coût externe. Pour le transport de marchandises, ce coût externe est partiellement internalisé grâce à une taxe kilométrique pour les poids lourds de plus de 3,5 tonnes qui utilisent les autoroutes belges (Viapass, 2024).

Les coûts externes liés à la dégradation des infrastructures pour le transport fluvial sont négligés dans beaucoup d'études tellement ils sont faibles.

- La congestion

La congestion est définie comme une condition dans laquelle les véhicules sont retardés lorsqu'ils se déplacent vers une destination. Les coûts économiques générés par la congestion routière, calculés par rapport à la perte de temps, à la consommation supplémentaire de carburant et aux coûts des émissions supplémentaires, sont d'environ 400 millions d'euros par mois en Belgique. Ce qui fait que le coût de la congestion équivaut à environ cinq milliards d'euros par an pour la Belgique. Les véhicules transportant de la marchandise comptent pour 35% de ces coûts, soit environ 1,5 milliards d'euros par an (Belgium Mobility Dashboard, 2024). Pour l'utilisation de la voie d'eau, l'attente aux écluses ou aux quais représente un coût externe dû à la congestion. Cependant, ils peuvent être négligés tellement ils sont peu importants (CE, 2019).

Contrairement à la route et aux rails, le transport fluvial a encore la capacité d'augmenter son trafic sans créer de congestion (Planco, 2007).

Il faut aussi noter qu'en plus des conséquences économiques, la congestion entraîne des conséquences sociétales et environnementales. Cependant, selon plusieurs études, la congestion n'est pas considérée comme un coût externe car c'est un dommage que les usagers s'occasionnent entre eux et non un effet que subissent des usagers de la collectivité ou d'un autre mode de transport (SPW, 2021).

- Les autres coûts externes

Il existe d'autres coûts externes comme ceux liés aux émissions de gaz à effet de serre lors de la production d'énergie en amont de l'utilisation de certains modes de transport. Il y a aussi les coûts externes liés aux impacts que les infrastructures de transport ont sur les habitats naturels (CE, 2019).

3.2. Quantification des coûts externes

En 2021, le SPW a mandaté un bureau d'étude pour réaliser une analyse des coûts externes liés au transport de marchandises en Wallonie. L'objectif de cette étude était de calculer les coûts moyens, c'est-à-dire le coût total divisé par une mesure de l'activité de transport, contrairement au coût marginal utilisé dans d'autres études. Cette approche permet de mieux comprendre l'impact individuel des infrastructures de transport. En revanche, le coût marginal, qui montre l'impact supplémentaire, est plus adapté pour envisager des extensions ou des ajouts d'infrastructures existantes.

Le tableau en annexe 7 montre que le total des coûts externes liés au transport routier par des poids lourds s'élève à presque trois milliards d'euros pour l'année 2021, alors que pour la navigation intérieure, ces coûts sont de 42 millions d'euros. Il est cependant évident que, le transport routier étant beaucoup plus utilisé que le transport fluvial, ces chiffres soient beaucoup plus élevés pour le premier.

Pour obtenir une comparaison plus précise, il est pertinent de comparer les coûts externes par t-km. Même en tenant compte de cette unité de mesure, les coûts externes restent plus élevés pour le transport routier, bien que la différence soit plus petite (4,7c€/t-km pour les poids lourds et 2,8c€/t-km pour les péniches). Un aspect particulier de cette comparaison est que la navigation intérieure présente un coût externe plus important que le transport routier en ce qui concerne la pollution de l'air. En effet, bien que les bateaux émettent beaucoup moins de CO_2 que les poids lourds (ce qui est repris dans la catégorie des changements climatiques), ils

émettent davantage de particules comme les oxydes d'azote qui polluent l'air (voir annexe 8) (SPW, 2021).

3.3. L'intermodalité

La partie précédente a démontré les nombreux inconvénients du transport routier par rapport à l'utilisation des voies fluviales pour le transport de marchandises. Cependant, utiliser à 100% le transport fluvial n'est pas toujours possible. En effet, il est rare que l'origine et la destination soient tous deux en bord de voie d'eau, ce qui rend l'utilisation de camions pour le « first and last mile » (le premier et le dernier kilomètre) souvent nécessaire.

Selon la définition donnée par les Nations Unies et la Commission Européenne, « le transport multimodal est l'acheminement d'une marchandise empruntant deux modes de transport différents ou plus ». Le transport intermodal est un mode de transport multimodal qui se définit comme « l'acheminement d'une marchandise utilisant deux modes de transport ou plus mais dans la même unité de chargement ou le même véhicule routier, sans empotage ni dépotage » (CEE & NU, 2001).

La différence réside également dans l'aspect contractuel. Le transport multimodal peut être géré par un seul ou plusieurs transporteurs dans le cadre d'un contrat unique, tandis que dans le transport intermodal, chaque mode de transport est forcément géré par un transporteur différent et chaque étape fait l'objet d'un contrat distinct.

L'exemple le plus concret de transport intermodal est celui de la marchandise arrivant par bateau au port d'Anvers. Elle continue ensuite son trajet par les voies fluviales belges avant d'être déchargée sur un quai. Un camion vient alors charger cette marchandise pour l'acheminer à sa destination finale, située à proximité du quai. La figure 2 le schématise.

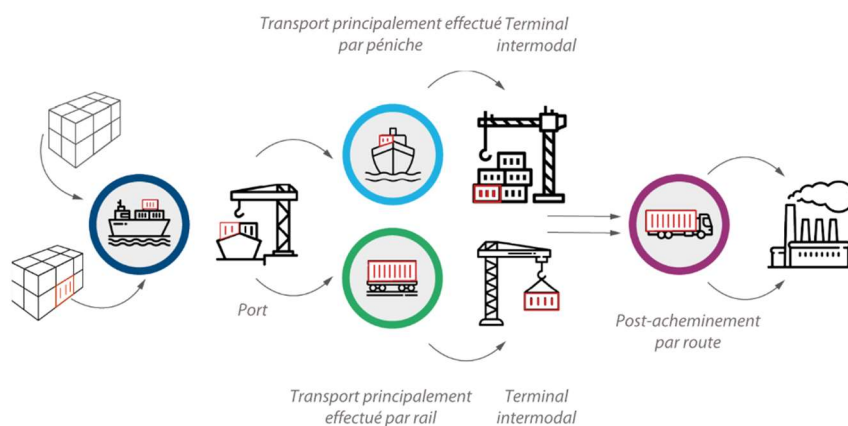


Figure 2 : Exemple de transport intermodal (Cour des comptes européennes, 2023)

Les changements de mode de transport peuvent se faire directement mais dans le cadre du transport fluvial, bien souvent, les marchandises sont stockées sur une plateforme multimodale en attendant le besoin de l'entreprise afin d'être chargée dans un camion pour le dernier kilomètre. Les plateformes multimodales sont des lieux permettant une interconnexion entre les différents modes de transport. Elles sont également appelées « hubs », terme anglais désignant un lieu qui rassemble des flux et permet de les stocker. Différents logisticiens expliquent que l'avantage des plateformes multimodales est de permettre aux entreprises de rapprocher la marchandise de la destination finale et de la stocker afin de pouvoir livrer la quantité nécessaire et limiter les risques de retards dus aux aléas routiers lorsqu'on a une longue distance à parcourir.

Il est important de noter que les différents modes de transports ne doivent pas être concurrents mais partenaires. Le transport fluvial ne pourrait pas exister sans le transport routier, qui lui permet de réaliser le dernier kilomètre.

3.4. Part modale

Comme le montre le tableau 1, le transport de marchandises en Belgique connaît une forte augmentation de 1980 à 2000, mais cette augmentation est presque intégralement absorbée par la route. Le manque d'efficacité du transport fluvial en est une cause, couplé au changement du modèle économique en Europe. Les entreprises travaillent désormais en flux tendus et évitent de stocker, favorisant de ce fait la route qui répond mieux aux exigences de rapidité, de coût, de flexibilité et facilite le transport de petits volumes (Strale, 2011).

Tableau 1 : Répartition modale du transport de marchandises en Belgique (Strale, 2011)

		1970	1980	1990	2000	2008	
Flux total de marchandises, en millions de tonnes-kilomètre		28,1	30,4	39	53,4	52,6	Union Européenne en 2008
Répartition modale	route	48,0 %	54,3 %	64,1 %	71,9 %	74,0 %	76,7 %
	chemin de fer	28,1 %	26,3 %	21,5 %	14,4 %	12,4 %	17,7 %
	voie d'eau	23,8 %	19,4 %	14,4 %	12,0 %	13,7 %	5,6 %

Le gouvernement a donné pour objectif de créer une activité qui n'utilise pas le transport routier ou très peu plutôt qu'un basculement d'une activité existante de la route vers le fluvial, ce qui est beaucoup plus difficile à mettre en place. L'objectif chiffré est d'augmenter de 40% les quantités de marchandises transportées via les voies fluviales. Entre 1995 et 2009, le transport fluvial a enregistré une croissance de 26%, principalement en raison de l'augmentation de la

demande de transport, et a repris en grande partie la part du transport ferroviaire, en baisse de 34%. (IWEPS, 2024). Sur les dix dernières années, la part modale du transport fluvial diminue mais on peut nuancer ce constat car si rien n'était mis en place par les pouvoirs politiques, la part modale aurait sûrement subi une descente encore plus importante.

Il est à noter que, selon les sources, les chiffres dans la répartition modale diffèrent. Cependant, la prédominance de la route est flagrante sur les deux autres modes de transport.

3.5. Mesures politiques

Différentes mesures politiques ont été prises dernièrement par le gouvernement wallon, la Région Wallonne et le SPW MI afin d'essayer d'inciter les entreprises à utiliser le transport fluvial. On peut par exemple citer :

- La vision FAST adoptée en 2017 par le gouvernement wallon avec un horizon 2030. Cet acronyme signifie **F**luidité (réduction de la congestion), **A**ccessibilité (accès pour tous), **S**écurité et **S**anté (réduction des accidents et des nuisances environnementales). Cette vision a été traduite en objectifs ambitieux de **T**ransfert modal. La Vision FAST vise à réduire de 7% la part modale de la route pour le transport de marchandises d'ici 2030. Pour ce faire, elle prévoit de diminuer de 0,6% le nombre de tonnes de marchandises transportées par kilomètre sur la route et d'augmenter de 2,7% le nombre de tonnes de marchandises transportées par kilomètre via le transport fluvial. De plus, les émissions de CO_2 dues aux poids lourds doivent diminuer de 15% d'ici 2030 (SPW, 2020)
- Le plan « Mobilité et infrastructures pour tous » lancé en 2020 par la Région Wallonne. Il reprend les budgets consacrés pour une période de six ans aux différents modes de transport pour améliorer les infrastructures. 230 millions d'euros seront investis pour les infrastructures du réseau fluvial. Cela inclut par exemple des réhabilitations de ponts, la construction de terminaux et des travaux pour maintenir, automatiser et agrandir le gabarit des écluses (SPW, 2020).
- Le plan d'aides aux modes de transport alternatifs renouvelé en 2021 avec un budget annuel de quatre millions d'euros pendant cinq ans. L'objectif est d'inciter les entreprises à utiliser le transport intermodal pour les longs trajets. Ce plan prévoit l'octroi de primes à l'investissement sur l'achat d'équipements de manutention et de transbordement de marchandises (SPW, 2021).
- Des primes à l'investissement accordés par la Région Wallonne pour les équipements, les aménagements d'infrastructures ou les achats de terrains liés à l'utilisation des voies

fluviales. Ces aides représentent 20 à 30 % des investissements, avec un plafond de 500.000 euros par an. La condition sine qua non pour obtenir cette aide est d'augmenter et de maintenir son tonnage fluvial pendant quatre ans. Cela peut être combiné avec le transport ferroviaire. Cette mesure a déjà bénéficié à 86 entreprises, permettant d'économiser entre 27 et 67 millions d'euros de coûts externes (SPW, 2021).

- Des partenariats avec les ports. Par exemple, le SPW MI, en partenariat avec le port de Liège a investi pour rehausser les ponts situés sur le Canal Albert afin de permettre un tirant d'air plus élevé et donc d'augmenter la capacité maximale de tonnes pouvant y être transportées. Le Canal Albert peut maintenant être traversé par des péniches ayant quatre couches de conteneurs au lieu de trois précédemment. Il a aussi été question d'agrandir un terminal stratégique permettant de répondre aux besoins des clients afin d'assurer aux entreprises utilisant ce transport de massification un stockage de leurs marchandises à proximité de leur lieu de destination. En effet, ce terminal de Liège Trilogiport a connu une augmentation en cinq ans de 70.000 conteneurs EVP (Port Autonome de Liège, 2024).

Partie IV : Partie Qualitative

4.1. Introduction

Afin d'identifier les problématiques que la voie fluviale peut engendrer lors de son utilisation pour le transport de marchandises, j'ai effectué une courte étude qualitative. J'ai compilé des informations pertinentes lors de mon stage au PACO et j'ai approfondi l'analyse en rencontrant des professionnels du milieu. Le but de cette analyse est de déterminer si le transport fluvial en Wallonie est actuellement capable d'accueillir des flux de marchandises supplémentaires en identifiant les principales problématiques que les utilisateurs rencontrent lors de son utilisation ainsi que les solutions qui pourraient diminuer l'impact de ces problématiques.

4.2. Méthodologie

J'ai commencé par interviewer trois logisticiens spécialisés dans le transport fluvial et un directeur de la logistique d'une grande entreprise. Ces premiers entretiens ont permis d'identifier des problématiques spécifiques, ce qui a conduit à élargir le panel d'interlocuteurs pour inclure des experts proposant des solutions ou ayant une influence sur les problématiques identifiées.

Les entretiens, d'une durée variant entre 40 minutes et deux heures, ont été menés de manière flexible, en présentiel, par visioconférence ou par téléphone. Un questionnaire semi-directif a été utilisé pour orienter les discussions tout en permettant aux participants de développer leurs réponses et de soulever des points supplémentaires, assurant ainsi une exploration approfondie des sujets pertinents.

Ont été interviewés :

- Monsieur Vincent Brassinne (Directeur chez Novandi) ;
- Monsieur Jeremy Cambier (Terminal Manager chez Dufenco Logistique) ;
- Monsieur Jean-Benoit Collée (Directeur AFR Benelux chez Heidelberg Materials) ;
- Monsieur Henri Dufour (Business Developer pôle logistique fluvial chez Dufour – SODEMAF) ;
- Madame Geneviève Finet (Directrice du département des infrastructures et du développement économique au sein de l'intercommunale IDEA) ;
- Monsieur Juan Funes (Ingénieur en R&D chez SeaFar) ;

- Monsieur Pascal Moens (Direction du transport et de l'intermodalité des marchandises au SPW Mobilité et Infrastructures) ;
- Monsieur Pascal Roland (Président de la Fédération de la Batellerie Wallonne (FBW) et professeur de batellerie) ;

Les résumés des entretiens sont joints par date chronologique dans les annexes 9 à 16.

4.3. Problématiques identifiées

- Le manque de bateliers

La libéralisation du métier de batelier a entraîné une baisse des coûts de transport par tonne grâce à une efficacité accrue. Cependant, cette libéralisation a plongé les bateliers dans des difficultés économiques, les obligeant à accepter des tarifs qui ne couvrent pas toujours leurs frais. M. Roland, président de la Fédération de la Batellerie Wallonne (FBW) explique que, selon lui, les indépendants sont souvent contraints d'accepter des prix de transport insuffisants pour rester compétitifs face aux entreprises cherchant à minimiser les coûts et pour rester concurrentiel face au transport routier.

Pour débiter leur activité, les jeunes bateliers doivent investir dans un bateau qui sera leur outil de travail. Un bateau moderne de classe 5 revient à un investissement de six à sept millions d'euros, avec un retour sur investissement très lent. Les banques se montrent réticentes à financer ces projets, forçant dès lors les jeunes à commencer avec des bateaux plus petits et donc, moins rentables, rendant l'accès à la profession difficile. Le SPW offre toutefois une prime de 500.000 euros pour l'achat du premier bateau, aidant à surmonter cet obstacle financier.

Le métier de batelier est souvent mal reconnu, mal payé et soumis à de nombreuses contraintes. La FBW, créée fin 2022, vise à représenter les intérêts des bateliers en région wallonne, à servir de point de contact central pour les entrepreneurs et à faciliter la concertation avec les institutions politiques et administratives. Elle mène également des actions de sensibilisation pour attirer des jeunes vers les métiers fluviaux.

Selon M. Brassinne de la société Novandi, bien que le manque de bateliers ne soit pas encore critique, le vieillissement de la main-d'œuvre constitue une préoccupation majeure, avec de nombreux capitaines approchant l'âge de la retraite. Cette situation pourrait devenir problématique pour l'avenir du transport fluvial. Le métier n'attire plus les jeunes en raison de ses impacts sur la vie sociale et familiale.

M. Dufour de la société SODEMAF souligne que le statut d'indépendant des bateliers complique encore la situation. L'achat d'un bateau et l'emploi d'un capitaine sont rarement rentables pour une entreprise en raison des charges sociales élevées. Une étude de l'ITB (2013) révèle que les coûts d'équipage pour la navigation intérieure en Belgique sont significativement plus élevés que chez nos voisins.

Il faut tout de même souligner que le transport fluvial n'est pas le seul secteur touché par ce manque de main-d'œuvre. Les transports ferroviaire et routier sont également affectés par un manque de conducteurs ces dernières années.

- La fermeture des écluses

Le réseau fluvial belge, bien que dense, n'est pas le plus adapté au transport de fret. En Wallonie, il y a 193 ouvrages de franchissement (écluses, ascenseurs, plan incliné), avec un temps moyen de franchissement de trente minutes.

L'entretien des écluses est crucial car une panne peut paralyser tout un axe de transport, et les déviations, quand elles existent, allongent le temps de trajet de plusieurs heures voire plusieurs jours.

Les plages horaires d'ouverture sont le majeur problème de la gestion des écluses wallonnes. En effet, celles-ci sont ouvertes en moyenne de 6H à 19H, fermées la nuit ainsi que le dimanche. Ces fermetures bloquent les bateaux, augmentent le temps de transport et donc le coût du transport. Cette problématique est largement dénoncée par les utilisateurs. M. Moens du SPW MI le confirme : « la problématique est connue depuis plus de vingt ans et il est dommage qu'une ouverture quasi permanente des écluses ne soit toujours pas mise en place. »

Deux points peuvent expliquer cette situation. Primo, l'entretien nécessaire des écluses qui ne peut se faire que lorsqu'elles sont fermées. Une ouverture sans interruption poserait le risque d'un moindre entretien avec pour conséquence que si une écluse devait fermer, le transport fluvial en serait fortement impacté. Secundo, le métier d'éclusier est un métier en pénurie. Le manque d'opérateurs empêche un élargissement des plages horaires. Une solution existe pourtant : la mise en place d'écluses téléconduites qui sera décrite dans la section « Solutions ».

- Les goulets d'étranglement

L'avantage incontestable du transport fluvial est sa capacité de massification, c'est-à-dire pouvoir transporter beaucoup plus de tonnes en un seul trajet que les autres modes de transport.

Il y a toutefois un bémol : certains gabarits de voies navigables ou certains obstacles diminuent le nombre de tonnes maximales pouvant être transportées par la péniche et cause des goulets d'étranglement. Un goulet d'étranglement est défini par la Commission économique des Nations Unies comme les sections du réseau de voies navigables dont les paramètres sont sensiblement inférieurs aux prescriptions visées. Par exemple, les ponts à faible tirant d'air diminuent le nombre de couches de conteneurs transportés sur les péniches. Le tirant d'eau a aussi un fort impact car, associé à la largeur et la profondeur du cours d'eau, il détermine le nombre de tonnes maximales qu'un bateau peut transporter. Les écluses, ascenseurs et pont incliné ont aussi un gabarit maximum à ne pas dépasser (Cour des comptes européennes, 2015).

M. Cambier de l'entreprise Duferco explique que ses conteneurs font le trajet « La Louvière-Anvers » en passant par Bruxelles. Le Canal Bruxelles-Charleroi est le point faible du réseau fluvial belge car son gabarit autorise seulement une charge maximale que de 1.350 tonnes. Cependant, pour obtenir une place sur un quai au port d'Anvers, les autorités obligent un nombre minimum de manipulations. Duferco est donc contraint d'avoir un hub pour changer de péniches à Bruxelles car à partir de la capitale, le gabarit passe de 54 à 220 EVP. Cela double les ruptures de charge, allonge le temps de parcours et augmente le prix du transport.

En Wallonie, le pont des Trous sur l'Escaut à Tournai était un bel exemple de goulet d'étranglement dû à un tirant d'air trop faible. La région Wallonne a exigé sa démolition avec une reconstruction autorisant le passage de péniches transportant 2.000 tonnes (Architectura, 2019). Les liaisons manquantes comme par exemple le Canal Seine-Escaut reliant la France et la Belgique s'ajoutent à la liste des goulets d'étranglement relevés par la Cour des comptes européennes.

D'après la Cour des comptes européennes, si la part modale du transport fluvial n'a pas significativement augmenté entre 2001 et 2012, c'est principalement à cause des goulets d'étranglement. Elle recommande donc aux états membres de se concentrer sur ceux-ci et de proposer des projets qui permettraient de les supprimer (Cour des comptes européennes, 2015). M. Moens nuance cependant en expliquant que, comme un goulet d'étranglement est l'endroit où la capacité de tonnes que l'on peut transporter est la plus faible du réseau, il y en aura toujours un. De plus, si on juge opportun d'essayer de le supprimer, on connaît les travaux à réaliser ainsi que le coût nécessaire.

- Le phénomène NIMBY

L'acronyme NIMBY, signifiant « Not In My Back Yard » (« pas dans mon arrière-cour »), désigne les mouvements de contestation de la part des riverains opposés à des projets émettant diverses nuisances telles que le bruit, la pollution atmosphérique, les atteintes au paysage, les odeurs et tout autre projet pouvant amener une dévalorisation immobilière. Ce phénomène est caractérisé par une opposition non pas au projet ou à l'activité en elle-même, mais à sa localisation, en raison de l'impact perçu sur le cadre de vie des riverains (Subra, 2008).

L'activité fluviale est particulièrement concernée par le phénomène NIMBY lors de son chargement et déchargement, notamment à cause des poussières générées sur les quais. Contrairement aux camions, la couverture des bateaux pour réduire la poussière est techniquement plus complexe. De même, les bandes transporteuses couvertes, utilisées pour limiter les émissions de poussière lors des transferts de marchandises, représentent un investissement considérable.

- Les stratégies d'aménagement du territoire

« *Pour utiliser le transport fluvial, il faut quelque chose à transporter* ». Cette phrase a servi à M. Moens pour introduire la problématique de la vente des terrains proches des voies navigables. Ces terrains sont des ressources naturelles en perdition et il est important de les vendre à des entreprises avec le potentiel de réaliser du transport fluvial. A titre d'exemple, il mentionne la construction d'une caserne de pompiers en bord de Sambre, une localisation qui pourrait être mieux utilisée pour des entreprises logistiques. Car une fois qu'une entreprise avec un potentiel fluvial s'éloigne des voies navigables, son recours au transport fluvial devient impraticable, la contraignant à utiliser d'autres modes de transport.

Le manque de coordination entre les organisations gérant les terrains au bord des voies d'eau constitue un frein majeur au développement du transport fluvial. Pour M. Moens, il ne serait pas insensé de réfléchir à donner la gestion des terrains au bord de voie d'eau aux ports car les intercommunales ne prennent pas assez en compte l'importance et le potentiel du transport fluvial. Il pointe également un déficit de partage d'informations, tant entre les ports qu'entre les différents gestionnaires de terrains, qui sont, selon de nombreux spécialistes, trop nombreux.

Les régions, ainsi que les ports wallons, sont dans une logique concurrentielle afin de capter les flux des entreprises. Les concertations entre les acteurs se faisant sur base volontaire, il y a donc une faible coordination dans les décisions politiques (Strale, 2011). Cependant, Mme Finet note

que dans la région de Mons et de la Louvière, une collaboration efficace existe entre l'intercommunale IDEA et le Port Autonome du Centre et de l'Ouest (PACO). Les terrains mouillés (avec accès direct à la voie d'eau) sont désormais attribués selon des conditions d'activité, d'emplois et d'occupation du sol et sous condition de report modal chiffré. Mme Finet explique également que le port ne pourrait pas s'occuper de la gestion des terrains mouillés car son rôle est d'augmenter le report modal et il ne prendrait en compte d'autres critères importants comme la création d'emploi et la création de richesse économique pour la région.

MM. Moens et Brassinne s'accordent sur le fait qu'il devrait y avoir un seul point de contact pour obtenir les informations sur les terrains disponibles en bord de voie d'eau, les coûts associés, et les règles législatives relatives à l'utilisation des voies fluviales en Wallonie afin d'éviter la perte de projets en région wallonne comme ce fut le cas de nombreuses fois par le passé.

- Le travail en flux tendus

De plus en plus d'entreprises travaillent en flux tendus, c'est-à-dire qu'elles ne stockent pratiquement rien et répondent à la demande par des livraisons rapides. Ce modèle favorise donc l'utilisation du transport routier pour sa rapidité et sa flexibilité. Cependant, MM. Dufour et Brassinne argumentent que, malgré sa lenteur, le transport fluvial offre une meilleure fiabilité.

En effet, le transport fluvial permet de rapprocher les stocks de marchandises sur une plateforme multimodale située à proximité du lieu de production, tout en évitant l'encombrement du terrain de l'entreprise. Cela améliore la rapidité et l'efficacité des livraisons pour le dernier kilomètre. Par exemple, M. Brassinne évoque le cas de la société Novandi, qui gère le transport pour une entreprise fonctionnant en flux tendu, sans espace de stockage et incapable d'interrompre sa production plus de cinq minutes. Les marchandises sont stockées sur une plateforme multimodale proche, réduisant ainsi le risque que le camion chargé du dernier kilomètre n'arrive pas dans les cinq minutes prévues, contrairement à un camion devant parcourir plus d'une heure de route, exposé aux aléas du trafic.

- Le manque d'informations

Un manque d'informations et une perception désuète des métiers de la logistique fluviale freinent également le développement de ce mode de transport. M. Roland souligne la nécessité de sensibiliser davantage aux avantages du transport fluvial. M. Brassinne note que ce mode de

transport permet de réduire les coûts cachés du transport routier, tels que les retards fréquents des camions. Les coûts associés aux retards routiers sont souvent considérés comme des coûts extras, biaisant ainsi l'évaluation de la rentabilité du transport routier.

La mentalité des entreprises, souvent réfractaires au changement, constitue un autre obstacle. Beaucoup de décideurs ayant toujours travaillé avec des camions, n'analysent pas le potentiel du fluvial. D'ailleurs, M. Brassinne explique que le plus gros avantage du transport fluvial, la massification, peut jouer en sa défaveur. En effet, beaucoup d'entreprises pensent que pour utiliser le fluvial, il faut devoir transporter beaucoup de tonnes de marchandises en un seul trajet. Or, la société Novandi travaille aussi avec des entreprises qui ne font que cinq conteneurs par an. Les gros transporteurs sont la base de la péniche et sans eux le transport fluvial ne pourrait pas être rentable mais les petits volumes permettent de compléter les péniches et donc d'avoir souvent un coût de transport plus faible que s'ils utilisaient quelques camions pour ce même trajet.

4.4. Solutions

Les autorités ont pour objectif d'augmenter la part modale du transport fluvial. Pour atteindre cet objectif, le transport fluvial doit être capable d'accueillir ces nouveaux flux tout en restant rentable. Sinon, les entreprises continueront à privilégier le camion pour leurs trajets. L'automatisation des bateaux et des écluses permettrait de diminuer l'impact des deux principales problématiques analysées au chapitre précédent, à savoir le manque de bateliers et l'impossibilité de naviguer en permanence en Wallonie en raison de la fermeture des écluses. Ces deux solutions potentielles sont présentées et analysées dans ce chapitre.

- Les bateaux pilotés à distance

La Commission Centrale pour la Navigation du Rhin (CCNR) catégorise l'automatisation des bateaux en trois groupes principaux. Selon la définition internationale des niveaux d'automatisation, il y a cinq niveaux :

- **Niveaux 1 et 2** : Bateaux équipés de systèmes d'assistance pour la gouverne et la propulsion, où le conducteur humain reste responsable.
- **Niveau 3** : Bateaux équipés de systèmes d'assistance intelligents capables d'assurer toutes les tâches de navigation dynamique, y compris l'évitement des collisions.

- **Niveaux 4 et 5** : Bateaux équipés de systèmes réalisant l'ensemble des tâches de navigation dynamique, de secours et d'évitement d'objets sans intervention humaine nécessaire.

Le Règlement de Police pour la Navigation du Rhin (RPNR) exige que le conducteur et l'équipage soient à bord. Toutefois, pour des projets pilotes, des dérogations peuvent être obtenues à condition de garantir un niveau de sécurité équivalent (CCNR, 2022). En Belgique, des dérogations permettent aux bateaux automatisés de naviguer en Flandre, mais pas encore en Wallonie.

Trente-cinq projets pilotes sont recensés pour améliorer et adapter la législation en matière de navigation, garantissant sécurité, développement économique, social et environnemental (CCNR, 2022). L'entreprise SeaFar, basée à Anvers avec des bureaux à Charleroi et en Allemagne, propose des services d'automatisation des bateaux. SeaFar en a déjà automatisé 40, dont certains font partie des projets pilotes. Ces bateaux sont automatisés au niveau 2 selon la définition de la CCNR.

Les capitaines qui pilotent ces bateaux à distance peuvent en contrôler jusqu'à six simultanément. M. Furnes, de SeaFar, explique que cela augmentera l'efficacité du transport fluvial. En effet, un bateau est à l'arrêt plus de 50% du temps pour diverses raisons (attente à une écluse, attente d'une place sur un quai, chargement ou déchargement). Le contrôle simultané de plusieurs bateaux permet d'économiser les coûts de main-d'œuvre lorsqu'un de ceux-ci est à l'arrêt.

La CCNR se pose des questions en termes de sécurité si le nombre de bateaux automatisés venaient à significativement augmenter sur les cours d'eau. L'interaction avec les bateaux non automatisés est aussi un point à éclaircir. Il pourrait en effet être plus difficile de porter assistance à un bateau en difficulté s'il n'y a plus d'équipage. Le RPNR oblige aussi les membres d'un équipage à être en mesure de gérer les situations d'urgence à bord de son bateau, dans le chenal navigable et de prêter assistance à un bateau à proximité. Les bateaux pilotés à distance devront donc prouver qu'ils en sont capables. Des points du règlement concernant les assurances et le contrôle en cas d'infractions devront aussi être analysés et adaptés pour les bateaux automatisés (CCNR, 2022).

M. Furnes déclare que cette technologie permet une réduction du nombre d'erreurs humaines. Selon lui, cette automatisation peut aussi potentiellement permettre d'attirer des jeunes vers ce nouveau métier. En effet, batelier est un métier dont le rythme de vie est complètement différent

de certaines professions plus traditionnelles. La grande majorité des nouveaux capitaines à distance l'ont fait pour obtenir un rythme de vie plus classique. En outre, cette technologie innovante donnera une image plus moderne à la profession. Cependant, M. Roland nuance : l'automatisation et les technologies ont des points positifs pour le transport fluvial et pourrait apporter une solution partielle pour une partie des marchés mais pas pour tous. Et de citer comme exemple les dangers liés au transport de personnes et à la navigation sur le Rhin dus à sa forte fréquentation. Il explique par ailleurs que les qualifications nécessaires pour devenir capitaine n'ont pas changées avec l'informatisation et que la raison du désintérêt auprès des jeunes n'est pas forcément liée à un rythme de vie particulier. Pour lui, une augmentation de la promotion de tous les métiers liés au transport fluvial serait une solution efficace pour augmenter la population de bateliers en Belgique.

M. Moens précise que l'automatisation est particulièrement adaptée aux entreprises parcourant toujours le même trajet et possédant leur propre flotte. Malheureusement, peu d'entreprises possèdent leur propre flotte et pour les bateliers indépendants, il s'agit d'un investissement trop élevé.

Cette automatisation amène à changer les tâches des conducteurs. Il est donc important d'examiner les conséquences engendrées sur les compétences requises, les conditions sociales, la formation et l'employabilité. La CCNR pointe le côté positif de l'automatisation permettant de faciliter la vie du conducteur mais met aussi en garde que l'automatisation peut transformer le conducteur en simple observateur. M. Roland partage entièrement cet avis et signale qu'un conducteur ne pratiquant plus certaines tâches, s'il devait les exécuter en urgence, aurait certainement des soucis avec la procédure. Il est donc crucial d'examiner l'impact social de la navigation automatisée sur le conducteur (CCNR, 2022).

- Les écluses téléconduites

Comme mentionné dans les problématiques, la fermeture des écluses la nuit et le dimanche constitue une problématique majeure pour les utilisateurs des voies d'eau. Le manque de personnel empêche l'élargissement des plages horaires. Le SPW MI a initié un projet de 23 millions d'euros pour automatiser 30 écluses et un pont mobile d'ici 2035. Les quatre premières écluses téléconduites ont été mises en place en 2022 sur la Sambre, prolongeant la plage horaire jusqu'à 22H au lieu de 19H30. Cette solution permet à un éclusier de gérer plusieurs écluses simultanément depuis un centre de contrôle, ce qui pourrait, à personnel égal, prolonger les

heures d'ouverture des écluses et permettre aux péniches de naviguer en permanence sur les voies fluviales wallonnes afin de diminuer les temps d'attente.

4.5 Conclusion

La remise en cause du transport routier en raison des coûts externes qu'il génère, notamment la congestion et le réchauffement climatique, a permis de remettre en avant le transport fluvial auprès des autorités. Ces nouvelles initiatives ont contribué à améliorer le réseau belge, très dense et sous-exploité. Les goulets d'étranglement sont ciblés et les autorités œuvrent en continu pour augmenter leur gabarit. Le gaspillage des terrains mouillés est révolu, les ports et les intercommunales collaborent désormais pour que les entreprises situées en bord de voie d'eau utilisent le transport fluvial. L'information sur ses avantages, comme le stockage sur les plateformes multimodales à proximité des lieux de destination, doit toutefois encore être améliorée. Le manque de bateliers reste un problème auquel l'automatisation des bateaux pourrait offrir une solution, bien qu'elle ne fasse pas l'unanimité parmi les acteurs du milieu interrogés. Pour permettre au transport fluvial d'accueillir des flux supplémentaires et de devenir plus compétitif par rapport au transport routier, la question la plus cruciale à résoudre est l'ouverture permanente des écluses. Cette ouverture permettrait de diminuer le temps de transport, et ipso facto son coût de transport. Cette diminution couplée à la fiabilité du transport fluvial la rendrait plus compétitive face au transport routier. De plus, la compétitivité est importante car l'aspect écologique est un facteur activateur pour choisir le transport fluvial mais l'aspect décisionnel sera toujours le prix. Ainsi, la mission du SPW MI d'automatiser les écluses wallonnes revêt une importance cruciale pour faciliter l'ouverture permanente des écluses et améliorer l'efficacité du réseau fluvial en Wallonie.

Partie V : Partie Quantitative

5.1. Introduction

L'objectif de cette étude quantitative est d'analyser les impacts de l'ouverture du Canal Seine-Nord Europe (SNE) sur les flux de marchandises à l'aide du logiciel NODUS.

5.2. Le Canal Seine-Nord Europe

Le Canal SNE est un immense projet d'aménagement du territoire destiné à développer le transport fluvial en France. Il reliera les réseaux fluviaux français aux grands ports de Belgique et des Pays-Bas, dont principalement les deux plus grands d'Europe, Rotterdam et Anvers. Ce canal, capable d'accueillir des péniches de grand gabarit mesurant jusqu'à 185 mètres de long et 11,40 mètres de large, représente une réponse nécessaire à l'étroitesse du Canal du Nord, actuel goulet d'étranglement pour le transport de marchandises.

Le gabarit du nouveau canal permettra aux péniches de transporter jusque 4.400 tonnes de marchandises, soit l'équivalent de 220 camions. Le canal reliera Compiègne dans l'Oise à Aubencheul-au-Bac dans le Nord (voir figure 3). Ce nouveau gabarit désenclavera le bassin de la Seine et permettra la liaison de la Seine à l'Escaut pour les bateaux de grand gabarit, augmentant ainsi l'efficacité du transport fluvial.



Figure 3 : Carte du projet du Canal SNE (VNF, 2020)

La massification du transport fluvial via le Canal SNE réduira les coûts de transport et les émissions de gaz à effet de serre. L'objectif est de transporter 17 millions de tonnes de marchandises par an, réduisant le trafic routier d'un million de poids lourds en France et de 2,3 millions à l'échelle européenne. Une économie de 50 millions de tonnes de CO_2 est prévue sur une période de 40 ans (Canal Seine-Nord Europe).

Ce projet fait partie d'un des 30 projets prioritaires du RTE-T de la CE. Le RTE-T est un instrument pour le développement d'un réseau d'infrastructures de transport facilitant les échanges, améliorant l'accessibilité entre les pays membres et augmentant la part des transports plus écologiques à travers l'Europe. La liaison Seine-Escaut fait partie du cadre du corridor Mer du Nord/Méditerranée (CE). Cette participation de la part de la CE n'est évidemment pas neutre quant à son implication financière. D'ailleurs, la CE finance 2,1 milliards d'euros sur les cinq nécessaires pour ce projet. Le montant restant est financé par la France (1,1 milliard), les collectivités territoriales (1,1 milliard) et un emprunt de 800 millions d'euros remboursés par une taxe incitant au report modal (Giovannini, 2020).

Le canal comprendra sept écluses et sera opérationnel 24H/24, 360 jours par an, permettant une traversée plus rapide de 17 heures contre 30 heures actuellement. Deux bassins réservoirs, quatre plateformes trimodales et de nombreux quais de transbordement sont prévus pour assurer une alimentation en eau et faciliter le chargement et déchargement (Bernadet, 2007). Cependant, les autorités portuaires ont souligné que pour atteindre une massification optimale, les écluses wallonnes sur l'Escaut doivent s'harmoniser avec les horaires des autres écluses qui sont ouvertes 24H/24 (Lanneaux, 2020).

Le projet ne consiste pas uniquement en la construction et l'utilisation du Canal SNE, mais englobe également toutes les zones impactées par ce corridor. Pour la Belgique, cela signifie que les entreprises belges bénéficieront d'un accès grand gabarit vers Paris et le port du Havre. Et surtout, dans l'autre sens, les entreprises françaises ont maintenant un accès grand gabarit vers le port d'Anvers (Canal Seine-Nord Europe). Si la France doit réaliser d'importants travaux, pour la Belgique il s'agit d'une simple modernisation des voies d'eau existantes (Lanneaux, 2020). C'est surtout le Hainaut qui poserait problème avec des infrastructures comme des écluses ou l'ascenseur de Strepv-Bracquegnies construits pour accueillir des bateaux de 2.200 tonnes contre 4.000 tonnes avec le Canal SNE (Ferrer & Lefevbre, 2010). Ce fut notamment le cas avec les travaux du Canal Condé-Pommeroeul, voie d'eau navigable reliant le Canal du Centre à l'Escaut français sans passer par le Canal NBP. Ces travaux sur ce

canal de 11 km ont permis d'augmenter le gabarit à 3.000 tonnes (contre 1.350 auparavant). Il s'agit d'un investissement de 116 millions d'euros partagés entre les VNF et le SPW avec le soutien de l'UE. Le SPW a aussi, dans le cadre de ce projet, amélioré les chemins cyclables en bord de voie d'eau, construit des passes à poissons et renouvelé des barrages comme celui de l'Escaut datant de 1937 (SPW, 2024).

L'objectif du maître d'ouvrage (les VNF) est de mettre en service le Canal SNE d'ici 2030. Initialement prévu pour 2017, le début des travaux a pris du retard en raison de problèmes de financement (Giovannini, 2020). La date de 2030 est toutefois symbolique, car les investissements dans le canal sont continus. De nombreux travaux ont été entrepris, et les bénéfices se font déjà ressentir. L'ouverture du Canal SNE permettra de les multiplier grâce à l'augmentation du trafic fluvial. Cependant, des investissements devront continuer après 2030 pour maintenir et améliorer la fiabilité du réseau.

5.3. Méthodologie

Pour réaliser cet exercice, j'ai utilisé un éditeur NODUS, un logiciel de modélisation des flux de transport multimodaux de marchandises développé depuis 1995 par le Pr Bart Jourquin (UCLouvain). Il s'agit d'un système d'information géographique (GIS) utilisé dans des contextes de prise de décision. Il est employé dans diverses tâches analytiques pour optimiser différentes problématiques liées au transport (Beuthe & Jourquin, 2004). NODUS permet d'identifier le chemin, le type de véhicule, le mode de transport ou leur combinaison minimisant les coûts directs et indirects à l'aide de liens virtuels. Plus largement, il peut par exemple déterminer également l'emplacement le plus rentable pour l'installation d'une plateforme multimodale, favorisant ainsi le changement de mode de transport (Jourquin et al., 2011). NODUS fait partie de l'offre Open Source de l'UCLouvain (<http://nodus.uclouvain.be>).

1. Fonctionnement

Dans le modèle classique à quatre étapes (Ortúzar et Willumsen (2011)), NODUS implémente les étapes de choix modal et d'affectation en les combinant à travers un concept nommé « réseau virtuel ».

Les réseaux géographiques ne captant pas les nuances des opérations de transport, le Pr Jourquin a développé le concept de réseau virtuel (Jourquin, 1995). Un réseau virtuel est une modélisation avancée offrant une analyse détaillée des opérations de transport, particulièrement utile dans des systèmes complexes où plusieurs modes de transport coexistent. Il représente

chaque type d'opération par un lien spécifique avec un coût unique, modélisant précisément les différentes utilisations d'une infrastructure. Les réseaux virtuels se doivent d'être multimodaux car il existe plusieurs chemins reliant deux régions. En d'autres termes, un réseau géographique ne prend en compte qu'un seul chemin possible et n'y associe pas de coûts alors qu'un réseau virtuel prend en compte les coûts liés à l'intermodalité. C'est ce qui permet de rassembler l'étape de choix modal et d'affectation du modèle à quatre étages en une seule et même étape (Jourquin, 1995).

La figure 4 est un exemple pour comprendre comment fonctionnent opérationnellement les réseaux virtuels.

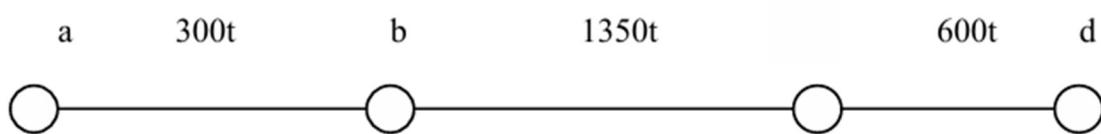


Figure 4 : Réseau virtuel (Jourquin, 1995)

Ce réseau est une voie d'eau contenant quatre nœuds et trois liens avec sur chaque lien, la capacité maximale définie par le gabarit de la voie d'eau, le tirant d'air ou le tirant d'eau. On peut imaginer que différentes catégories de péniches peuvent être utilisées au moment où le gabarit maximum change. Cela nous donne un nouveau réseau virtuel représenté par la figure 5.

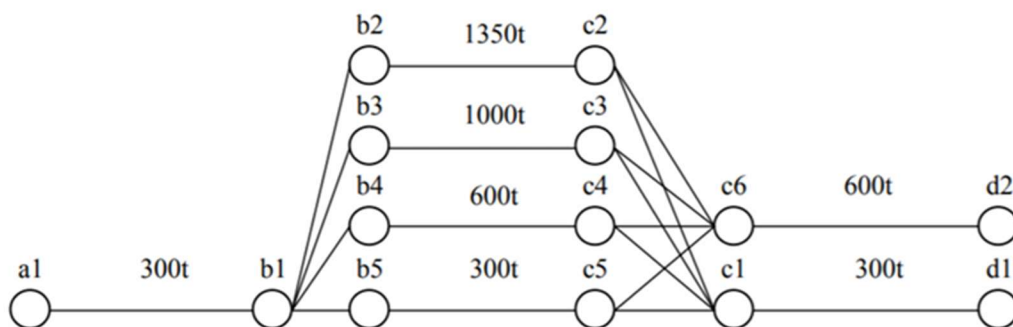


Figure 5 : réseau virtuel (Jourquin, 1995)

On note maintenant que chaque lien a son propre coût. Différents algorithmes permettent de calculer le chemin le moins cher ou le chemin le plus court en fonction de l'objectif (Jourquin, 1995).

2. Données

A présent que le fonctionnement général du logiciel NODUS est décrite, nous pouvons nous concentrer sur son utilisation spécifique pour analyser les impacts de l'ouverture du Canal SNE sur les flux.

Les origines et destinations de marchandises prises en compte couvrent le territoire du Benelux ainsi que des régions du nord de la France et l'ouest de l'Allemagne. Elles sont séparées selon la catégorie NUTS-3, ce qui équivaut pour la Belgique aux arrondissements.

Les voies navigables, les autoroutes, les routes principales et les voies ferrées sont représentées. Chaque arrondissement possède son centroïde qui englobe toutes les possibles origines et destinations de cet arrondissement en un même point. Les centroïdes sont reliés aux voies de transport les plus proches par des connecteurs si une demande pour ce mode de transport existe. Ces connecteurs sont du même type que le réseau auquel ils relient le centroïde. Cela signifie que si un centroïde est relié à une voie d'eau, il sera considéré comme une voie d'eau aussi. Les « first ou last mile » par camions ne sont pas paramétrés.

Les modes de transport définis sont le routier avec un seul type de camion, le ferroviaire avec un seul type de train et le fluvial avec six types différents de péniches selon leur gabarit.

Les paramètres utilisés pour définir la répartition de la demande entre chaque paire origine-destination et entre chaque mode sont le coût total et le temps de transport. Les coûts de chargements et déchargements sont fixes mais différenciés par mode de transport. Dans cet exercice simplifié, le transport intermodal n'est pas pris en compte explicitement.

Les fonctions de coût utilisées sont tirées de Jourquin et Beuthe (2019).

La première étape est de calculer le coût de transport (mv_{cost}) en fonction du lien (l), du mode de transport ou du type de péniche (m) et du type de marchandises (g). On le calcule en multipliant la longueur du lien par le ratio entre la vitesse moyenne du mode de transport et la vitesse moyenne sur le lien. Le résultat obtenu est à multiplier par le nombre de tonnes transportées.

$$mv_{cost_{l,m}}^g = \frac{Average\ Speed_m}{Speed_{l,m}} * length_l * unit\ mv_{cost_m}^g$$

Le coût de transport obtenu, on peut calculer le coût total (C) d'une voie entre une origine et une destination pour un mode de transport m transportant des marchandises de type g . Il faut prendre en compte les coûts de chargement (ld_{cost}), les coûts de déchargement (ul_{cost}) et tous les liens successifs (L) qui représentent le chemin parcouru entre l'origine et la destination.

$$C_m^g = ld_{cost}_m^g + ul_{cost}_m^g + \sum_l^L mv_{cost}_{l,m}^g$$

Le calcul du temps de transit (T) est assez similaire. Il prend en compte le temps de chargement ($ld_{duration}$) et de déchargement ($ul_{duration}$) ainsi que le temps de transit de tous les liens successifs qui forment la route.

$$T_m^g = ld_{duration}_m^g + ul_{duration}_m^g + \sum_l^L mv_{duration}_{l,m}$$

Avec $mv_{duration}_{l,m} = \frac{length_l}{speed_{l,m}}$

3. Modèle de choix modal

Le modèle utilisé est le modèle logit multimodal conditionnel introduit par MacFadden en 1973 (xlstat) Le logit conditionnel diffère du logit classique par le fait que les paramètres estimés pour les variables explicatives (le coût et le temps) sont identiques pour tous les modes de transport. Ainsi, les paramètres α et β de l'équation suivante ne dépendent pas du mode m .

$$Pr_m^g = \frac{\exp(\alpha^g C_m^g + \beta^g T_m^g + \delta_m^g)}{\sum_{j=1}^n \exp(\alpha^g C_j^g + \beta^g T_j^g + \delta_j^g)}$$

Avec Pr_m^g = probabilité de choisir le mode de transport m quand on transporte les marchandises g .

Une difficulté peut toutefois apparaître parce que les variables explicatives (le coût et le temps) sont fortement corrélées. Classiquement, le passage au logarithme des variables est souvent utilisé pour réduire ce problème. Les Pr Jourquin et Beuthe (2019) ont toutefois choisi d'appliquer une transformation de Box-Cox aux variables indépendantes, plus flexible qu'une simple transformation logarithmique.

La transformation de Box-Cox :

$$X_m^{g(y_m^g)} = \begin{cases} \frac{X_m^{g y_x^g} - 1}{y}, & \text{si } y_x^g \neq 0 \\ \log(X_m^g), & \text{si } y_x^g = 0 \end{cases}$$

La difficulté réside ici à identifier l'exposant y optimal (Jourquin, 2021).

Par exemple, la corrélation entre les variables était presque de 1 pour la route et de 0,87 pour la voie d'eau. La transformation de Box-Cox a permis de descendre cette corrélation à 0,79 pour la route et 0,78 pour la voie d'eau.

5.4. Analyse des résultats

Dans cette analyse, je compare deux scénarios : les flux de marchandises selon les données actuelles et les flux potentiels après l'ouverture du Canal SNE. Les données sont calculées par le logiciel NODUS et se basent sur les prévisions de 2010. Le logiciel fournit des flux en tonnes de marchandises par an selon l'ouverture ou non du Canal SNE.

- **En France**

Tout d'abord, examinons les impacts de l'ouverture du Canal SNE dans le nord de la France. La figure 6, générée par NODUS, illustre ces impacts. Les cours d'eau sont représentés en bleu et les routes principales en rouge. Un tracé foncé indique une augmentation du flux, tandis qu'un tracé clair indique une diminution. Plus le tracé est épais, plus l'impact est significatif.



Figure 6 : Impact de l'ouverture du Canal SNE sur les flux de marchandises dans le nord de la France (NODUS)

Le tableau 2 présente une analyse chiffrée des impacts de l'ouverture du Canal SNE pour le nord de la France, exprimée en pourcentage. Les pourcentages sont calculés selon une moyenne. En effet, les flux ne sont pas symétriques et les données ne sont pas les mêmes sur toute la longueur d'un cours d'eau ou d'un axe. Il y a donc une variation de gain ou de perte de tonnes. Certaines cellules sont vides, conséquence d'un manque d'information ou d'une information jugée non pertinente. L'ouverture du Canal SNE impactera significativement les flux de marchandises fluviaux et routiers mais n'aura aucun effet sur les flux de marchandises ferroviaires. Un tableau reprenant les calculs ainsi que les tonnes transportées se trouve en annexe 17. L'annexe 18 contient une description des axes fluviaux autres que wallons (déjà décrits en annexe 2) et l'annexe 19 contient les axes routiers mentionnés.

Tableau 2 : Impact de l'ouverture du Canal SNE sur les flux de marchandises dans le nord de la France

Région NUTS-3	Cours d'eau	Impact flux fluvial (%)	Axes routiers	Impact flux routier (%)
Paris	Seine	+13,14		-4,26
Eure et Seine-Maritime (vers port du Havre)	Seine	+8,78	A13 et A28/A29	-0,69 et -4,05
Oise/Somme	Canal SNE	+104,71	A1 et A16	-6,32 et -11,66
Pas de Calais (vers port de Dunkerque)	Liaison grand gabarit	+12,56		
Nord	Deûle	+22,43	A1	-3,28

Cette liaison grand gabarit, reliant Paris aux grands port maritimes belges et néerlandais, a un impact positif sur le transport fluvial dans la capitale française. L'augmentation du transport fluvial permettrait de réduire les flux de marchandises routiers de 4,3% (-421.000 tonnes) dans le centre de Paris, une zone déjà à sa capacité maximale et où les coûts externes dus à la congestion étaient estimés à 160 millions d'euros en 2007 (Koning, 2012).

Dans l'Oise, point de départ du Canal SNE, le gain potentiel du transport fluvial a plus que doublé avec une augmentation de 104,7%. L'augmentation prend en compte la suppression des flux sur l'ancien Canal du Nord, représenté en bleu ciel sur la figure 6. La diminution des flux

routier des camions circulant sur les autoroutes A1 (Paris-Lille) et A16 (Paris-Dunkerque) est estimée à environ 86.000 unités.

En traversant le département de la Somme, le Canal SNE devrait fortement désengorger le flux de marchandises routiers dans Amiens, avec une réduction de 1.839.000 tonnes de marchandises traversant la ville. A Aubencheul-au-Bac, dans le département du Nord, le canal se divise en deux branches : l'une vers l'ouest pour rejoindre le port de Dunkerque et Lille, avant d'entrer en Belgique via la Lys, et l'autre vers l'est pour rejoindre la Belgique via l'Escaut ou le Canal du Centre.

La Deûle, qui rejoint la Lys et la Belgique en traversant Lille, connaîtra une forte augmentation de 22,4% et désengorgera de 3,3% l'axe routier du nord de la France dont le transit de transport de marchandises est le plus important (plus de 60.000.000 tonnes sur l'A1 entre Lens et Lille).

- **En Belgique**

Passons maintenant à l'analyse des impacts de l'ouverture du Canal SNE sur les flux fluviaux et routiers en Belgique et principalement en Wallonie. La figure 7 illustre ces impacts, tandis que le tableau 3 fournit des données chiffrées. Contrairement à l'analyse concernant la France, les données sont regroupées selon les cours d'eau et non selon les régions car la nomenclature NUTS-3 correspond aux arrondissements en Belgique, trop nombreux et trop petits pour les analyser séparément.



Figure 7 : Impact de l'ouverture du Canal SNE sur les flux de marchandises en Belgique (NODUS)

Tableau 3 : Impact de l'ouverture du Canal SNE sur les flux de marchandises en Belgique

Cours d'eau	Impact flux fluvial (%)	Axes routiers	Impact flux routier (%)
Lys	+15,24	E17	-1,71
Escaut	+12,52	E17	-1,71
Canal NBP	-32,87		
Canal Pommeroeul-Condé	Création de flux	E19	-7,98
Canal du Centre	+23,29	E42	-2,29
Canal Bruxelles-Charleroi	+0,37	N6 et N5/E19	-1,17 et -2,15
Basse-Sambre	+14,8	E42	-1,69
Haute-Meuse	+1,54	E411/N4	-0,05
Meuse	+7,61	E42	-2,24
Canal Albert	+0,61		

La Lys, qui relie la France à Gand, est le cours d'eau belge connaissant la plus forte augmentation potentielle de flux de marchandises suite à l'ouverture du Canal SNE (augmentation de plus d'un million de tonnes). Cela occasionnerait une réduction des flux routiers de plus de 600.000 tonnes sur certaines portions de l'autoroute E17, reliant la France à Anvers via Gand. En termes de pourcentage, c'est le Canal du Centre qui connaît l'augmentation la plus significative (+23,3%) pour la Belgique, se chiffrant par le passage annuel supplémentaire de 350 péniches.

Gand et Anvers peuvent aussi être rejoints via l'Escaut, avec également une croissance non négligeable des flux (+12,5%).

En revanche, le Canal NBP verrait une diminution de ses flux de marchandises : le Canal Pommeroeul-Condé, inclus dans le projet de liaison fluviale grand gabarit, attirera une partie des flux du Canal NBP grâce à des travaux de modernisation. Ces travaux autorisent le passage de plus grands gabarits et la réduction du temps de trajet. Il est important de noter que seule la partie en aval du Canal NBE est affectée par l'ouverture du Canal Pommeroeul-Condé. Le Canal Pommeroeul-Condé générera ainsi un flux supplémentaire de 842.000 tonnes.

La Meuse, qui est annuellement traversée par plus de 2.000.000 de tonnes de marchandises et qui permet de facilement rejoindre Anvers grâce au Canal Albert connaîtra une augmentation significative de 7,6%.

- **Vers Rotterdam**

L'analyse se porte maintenant sur les cours d'eau et axes routiers utilisés pour rejoindre le port de Rotterdam. La figure 8 montre l'intensité de l'impact positif que l'ouverture du Canal SNE aura sur le transport de marchandises vers Rotterdam.



Figure 8 : Impact de l'ouverture du Canal SNE sur les flux de marchandises vers Rotterdam (NODUS)

Pour cette analyse, les impacts fluviaux et routiers sont séparés. Le tableau 4 montre les impacts fluviaux sur les cours d'eau permettant de rejoindre Rotterdam en partant d'Anvers et de Gand alors que le tableau 5 relève les impacts routiers sur ce tracé.

Tableau 4 : Impact de l'ouverture du Canal SNE sur les flux de marchandises sur les cours d'eau reliant Gand et Anvers à Rotterdam

Cours d'eau	Impact flux fluvial (%)
Canal Gand-Terneuzen	+8,44
Canal Gand-Bruges	+6,7
Canal Baudoin	+0,75
Escaut Maritime	+3,12
Schelde-Rijnkanaal	0

Kanaal door Zuid-Beveland	+6,67
Hollands Diep	+2,24
Dordtshe Kill	+1,83
Vieille/Nouvelle Meuse	+0,42
Waal	+0,79

Tableau 5 : Impact de l'ouverture du Canal SNE sur les flux de marchandises sur les axes routiers reliant Gand et Anvers à Rotterdam

Axes routiers	Impact flux routier (%)
E19	-0,2
A4	-0,5

Les flux augmenteraient principalement entre Gand et le port de Terneuzen (+8,4%) alors que les flux entre Anvers et Rotterdam resteraient stables. Les flux vers Rotterdam en partant de Gand connaîtraient une augmentation variant entre 1,8 et 6,7% ce qui peut paraître peu mais qui représente quand même des augmentations variant entre 900.000 et 1.100.000 tonnes. Les axes routiers reliant les grands ports de Belgique et Rotterdam devraient connaître une baisse inférieure à un pourcent mais même si ce chiffre est bas, cela représente jusqu'à 152.000 tonnes en moins par endroit, l'équivalent de 5.000 camions de 30 tonnes en moins sur les routes par an.

Cette liaison a aussi une influence sur l'ouest de l'Allemagne et notamment le Rhin, comme le montre la rivière du Waal reliant le Rhin et le port de Rotterdam (+0,8%).

5.5 Limites

Il faut tout de même noter les limites de cette analyse :

- Granularité statistique

Le découpage territorial utilisé est NUTS-3. Il permet de centraliser les données d'un arrondissement afin de les rendre lisibles. Si pour la Belgique, cela apporte une précision certaine ; en revanche pour la France, les régions NUTS-3 sont très vastes, influant négativement la précision des données obtenues.

- Données

Les données (comparaison et estimation des flux) ont été réalisées et enregistrées en 2010. Depuis lors, des mesures politiques, des crises ont influencé les activités économiques et de nombreux aménagements non anticipés ont été exécutés sur certains axes routiers et fluviaux. Ils n'entrent dès lors pas en ligne de compte.

- Simplification du modèle

Le modèle utilisé et décrit précédemment utilise deux variables explicatives : le coût et le temps. D'autres facteurs ayant une influence ne sont pas pris en compte comme la disponibilité des bateaux et des bateliers, les éventuelles synergies économiques, les « first et last mile », ou encore les réticences au changement.

- Validité du modèle

Aucune information ou donnée ne permet pour le moment de valider ou non les estimations obtenues par le modèle.

5.6 Conclusion

L'ouverture du Canal SNE a un objectif à double portée simultanée : augmenter les flux de transport fluvial dans le Nord de la France, principalement entre le bassin parisien et les ports d'Anvers et de Rotterdam ; et diminuer de manière drastique les flux de transport routier sur les voies rapides. La France devrait connaître une augmentation conséquente avec plus du double de tonnes transportées de la France vers la Belgique et les Pays-Bas.

Grâce aux subventions de l'UE, la Belgique a également adapté ses cours d'eau et canaux pour répondre au Canal SNE. La Lys, l'Escaut, le Canal du Centre, la Basse-Sambre et la Meuse vont connaître une augmentation des flux particulièrement significative grâce aux flux français mais aussi à l'amélioration globale du réseau fluvial belge. Il devrait séduire de nouvelles entreprises à s'installer en bord de voie d'eau. Les aménagements du Canal Pommeroeul-Condé ne sont pas à négliger : ils permettront de gagner une demi-journée de temps de transport.

A l'identique des projections françaises, ce redéploiement impactera directement à la baisse les flux de transport routier particulièrement saturé en Belgique. Avec toutes les conséquences positives pour la planète et la société décrites dans le chapitre sur les coûts externes.

Partie VI : Conclusion

Le transport de marchandises routier est cause d'une multitude d'externalités négatives pour la société en comparaison du transport fluvial.

Différentes mesures politiques ont été adoptées ces dernières années afin de le développer et le rendre le plus attractif possible pour concurrencer le transport routier en termes de prix à la tonne transportée et d'efficacité. Le projet de la CE de relier Paris aux ports d'Anvers et de Rotterdam grâce à la création du Canal Seine-Nord Europe en est un exemple significatif.

A l'aide du logiciel NODUS, j'ai analysé l'impact de l'ouverture du Canal SNE sur le transport de marchandises par voies fluviales et autoroutières. Le relevé des chiffres révèle clairement que, sur le territoire wallon, les flux de tonnes par an augmenteraient sur la majorité des cours d'eau avec des pics atteignant jusqu'à 23,3%. Avec en corollaire, une nette hausse du transport fluvial entre la France et la Belgique, un gain non négligeable sur les coûts externes causés par le transport routier et un flux de marchandises sur les axes wallons en baisse (jusqu'à 8%). Il est à signaler que ces résultats sont basés sur des chiffres datant de 2010 avec un découpage territorial en NUTS-3, permettant la lecture des données mais diminuant la précision. Ce sont aussi des résultats tirés d'un modèle simplifié et dont il n'existe pas la possibilité de valider les estimations.

Après avoir rencontré et interrogé plusieurs acteurs du milieu du transport fluvial, couplé à mon expérience d'un stage au PACO, j'ai compilé les informations pertinentes pour répondre aux questions introductives de ce travail : les infrastructures fluviales wallonnes sont-elles adaptées pour recevoir ces flux de marchandises supplémentaires ? Les problématiques rencontrées par les utilisateurs sont-elles surmontables pour réduire la part modale du transport routier au profit du transport fluvial ?

Il en ressort qu'une collaboration étroite existe désormais entre les ports et les intercommunales afin de proposer les terrains en bord de voie d'eau à des entreprises avec un réel potentiel de report modal. Des investissements continus sont injectés afin d'élargir le gabarit des cours d'eau et s'aligner avec le Canal SNE. La construction, l'agrandissement et la modernisation de nouveaux quais et plateformes multimodales sont également prévus ou déjà réalisés.

Certes, le manque de bateliers est actuellement une source d'inquiétude mais l'ouverture du Canal SNE apportera une nouvelle dynamique indéniable par une fréquentation des voies d'eau à la hausse offrant plus que probablement de meilleurs rendements aux bateliers.

L'automatisation permet également une alternative moins astreignante au rôle de capitaine grâce au pilotage à distance. Bien que cela doit être encore légiféré dans les textes et promu dans les écoles, la batellerie se renouvelle.

Enfin, afin d'être le plus concurrentiel possible face au transport routier, une automatisation des écluses est indispensable pour autoriser une navigation permanente, sans interruption nocturne, sur les voies fluviales de Wallonie. Le monde politique en est pleinement conscient. Le débat est ouvert.

Au vu de tous ces éléments, il apparaît que la région wallonne est bel et bien disposée, équipée et armée pour accueillir des flux de marchandises fluviaux supplémentaires et augmenter la part modale du transport fluvial. Pour autant évidemment que les conditions du développement fluvial soient respectées !

Partie VII : Bibliographie

ACM Container. *Container maritime, définition et historique*. En ligne [Container maritime, définition et historique - info-container.fr](https://www.info-container.fr/definition-et-historique)

Architectura (2019). *Pont des Trous à Tournai : fin de la saga et début des travaux*. En ligne [Pont des Trous à Tournai : fin de la saga et début des travaux \(architectura.be\)](https://www.architectura.be/pont-des-trous-a-tournai-fin-de-la-saga-et-debut-des-travaux)

Belgium Mobility Dashboard (2024). *Coût de la congestion*. En ligne [Coût de la congestion | 'Belgian Mobility Dashboard'](https://www.belgium-mobility-dashboard.be/coût-de-la-congestion)

Bernadet, M. (2007). L'évaluation socio-économique du projet de canal Seine-Nord Europe. *Transports : économie, politique, société*, 442, 87-97. En ligne [halshs-00266307](https://halshs.archives-ouvertes.fr/halshs-00266307)

Beuthe, M., & Jourquin, B. (1994). Incidences d'une modification du réseau hydraulique sur les transports par voies navigables. *Bulletin de L'AICPN*, 83/84, 11-14. doi : 10.13140/2.1.4956.2885

Beuthe, M., & Jourquin, B. (2004). A decade of freight transport modeling with virtual networks. Acquired experiences and new challenges. *World conference of the regional science association*. doi: [10.13140/2.1.1497.2167](https://doi.org/10.13140/2.1.1497.2167)

Beuthe, M., & Jourquin, B. (2019). Cost, transit time and speed elasticity calculations for the European continental freight transport. *Transport policy*, Volume 83, 1-12. doi: 10.1016/2019.08.009

Canal Seine-Nord Europe. *L'essentiel du canal*. En ligne [L'essentiel du Canal - Canal Seine-Nord Europe \(canal-seine-nord-europe.fr\)](https://www.canal-seine-nord-europe.fr/l-essentiel-du-canal)

Caris, A., Jourquin, B., Macharis, C., & Pekin, E. (2011). A decision support framework for intermodal transport policy. *Eur. Transp. Rev*, 3, 167-178. doi : 10.1007/s12544-011-0062-5

Commission Centrale pour la Navigation du Rhin. (2022). *Ce qu'il faut retenir de la feuille de route de la CCNR pour la réduction des émissions de la navigation intérieure*. En ligne [Communication_fr.pdf \(ccr-zkr.org\)](https://www.ccr-zkr.org/fr/communication/fr/pdf)

Commission Centrale pour la Navigation du Rhin. (2022). *Vision détaillée pour soutenir le développement de la navigation automatisée au sein de la CCNR*. En ligne [Vision_detaillee_fr.pdf \(ccr-zkr.org\)](https://www.ccr-zkr.org/fr/vision-detaillee/fr/pdf)

Commission Centrale pour la Navigation du Rhin. (2022). *Navigation automatisée. Définition internationale des niveaux d'automatisation en navigation intérieure*. En ligne [DefinitionAutomatisation_fr.pdf \(ccr-zkr.org\)](#)

Commission Centrale pour la Navigation du Rhin & Commission Européenne (2024). *Inland navigation in Europe. Market insight*. En ligne [om24_I_en.pdf \(ccr-zkr.org\)](#)

Commission Centrale pour la Navigation du Rhin. *La Belgique pièce rapportée de la CCNR en 1919 ?* En ligne [02_Deschamps_fr.pdf \(ccr-zkr.org\)](#)

Commission Européenne (1998). Des redevances équitables pour l'utilisation des infrastructures : Une approche par étapes pour l'établissement d'un cadre commun en matière de tarification des infrastructures de transport dans l'UE. *Livre Blanc, Direction générale VII – Transports*. En ligne [com98_466_fr.pdf \(europa.eu\)](#)

Commission Européenne économique & Nations Unies (2001). *Terminologie en transports combinés*. En ligne [term.pdf \(unece.org\)](#)

Commission Européenne (2019). *Handbook on the external costs of transport. V 1.1*. En ligne [handbook on the external costs of transport-MI0320275ENN.pdf](#)

Commission Européenne (2021). *EU Transport in figures. Statistical Pocketbook*. En ligne [eu transport in figures-MIAA21001ENN.pdf](#)

Commission Européenne. *Trans-European Transport Network (TEN-T)*. En ligne [Trans-European Transport Network \(TEN-T\) - European Commission \(europa.eu\)](#)

Cour des comptes européenne (2015). *Le transport fluvial en Europe : aucune amélioration significative de la part modale et des conditions de navigabilité depuis 2001*. En ligne [SR15_01_FR.pdf \(europa.eu\)](#)

Cour des comptes européenne (2023). *Transport intermodal de marchandises. L'UE peine à restreindre le fret routier*. En ligne [SR-2023-08_FR.pdf \(europa.eu\)](#)

Daduna, J. (2021). Intermodal competition in freight transport- Politicals impacts and technical developments. *Computational Logistics*. 642-660. doi : 10.1007/978-3-030-87672-2_42

Delmer, A. (1962). Les voies navigables. *Atlas de Belgique, Planche 45*. En ligne [Atlas1-FR-45.PDF \(atlas-belgique.be\)](#)

DVZ Redaktion (2023). *Welthandel kommt kaum vom Fleck*. En ligne [Welthandel kommt kaum vom Fleck - DVZ](#)

FEBIAC. *Evolution des infrastructures de transport en Belgique*. En ligne [Statistiques | FEBIAC](#)

Ferrer, F., & Lefebvre, A. (2010). *Techniques de transport fluvial et ferroviaire*.

Fischman, M., & Lendjel, E. (2010). Changements institutionnels et efficience de l'affrètement au voyage dans le transport fluvial de marchandises. En ligne hal-00515244

Giovanninni, S. (2020). *Le développement du transport fluvial face aux enjeux environnementaux du XXI^e siècle*. En ligne [le_developpement_du_transport_fluvial_face_aux_enjeux_environmentaux_du_xxideg_siecle.pdf \(univ-amu.fr\)](#)

Institut pour le transport par batellerie asbl (2013). *Position concurrentielle de la navigation intérieure*. En ligne [itb-fr-eindrapport-binnenvaart-final.pdf \(itb-info.be\)](#)

IWEPS (2024). *Demande de transport terrestre et répartition modale*. En ligne [Demande de transport terrestre et répartition modale - Iweps](#)

Janjevic, M., & Ndiaye, A. B. (2014). Inland waterways transport for city logistics : a review of experiences and the role of local public authorities. *Urban transport XX*, 279. doi : 10.2495/UT140241

Jourquin, B. (1995). Un outil d'analyse économique des transports de marchandises sur des réseaux multi-modaux et multi-produits : le réseau virtuel, concept, méthodes et applications. *PhD dissertation, FUCaM*.

Jourquin, B. (2021). Mode choice in strategic freight transformation models : A constrained Box-Cox meta-heuristic for multivariate utility functions. *Transportmetrica A : Transport Science*, 1-21. doi: 10.1080/23249935.2021.1937375

Koning, M. (2012). Essais sur la congestion dans les transports à Paris. *Economies et Finances, Université Panthéon-Sorbonne – Paris*. En ligne <https://theses.hal.science/tel-00717656>

Lanneaux, M-A. (2020). Le canal Seine-Nord Europe, une connexion européenne nécessaire et prioritaire ? Regards croisés (France-Belgique / Collectivités-Etat). *Géoconfluences*. En ligne

<https://geoconfluences.ens-lyon.fr/informations-scientifiques/dossiers-regionaux/territoires-europeens-regions-etats-union/rte-t/canal-seine-nord-europe>

Le dico du commerce international. *Rupture de charge*. En ligne [définition de Rupture de charge \(glossaire-international.com\)](https://glossaire-international.com)

Ministère de la transition écologique et de la cohésion des territoires (2017). *Généralités sur le transport et le réseau fluvial en France*. En ligne [Généralités sur le transport et le réseau fluvial en France | Ministère de la Transition écologique et de la Cohésion des territoires \(ecologie.gouv.fr\)](https://ecologie.gouv.fr)

Notélé (2024). *Où en est le développement de la voie fluviale Nord-Escaut*. En ligne [Le + de l'info : où en est le développement de la voie fluviale Nord-Escaut ? \(notele.be\)](https://notele.be)

Ortúzar, J., & Willumsen, L. (2011). *Modelling transport (4th edition)*. Chichester, West Sussex : John Wiley & Sons Ltd.

Planco consulting gmbH & Bundesanstalt für gewässerkunde (2007). *Economical and ecological comparison of transport modes : road, railways, inland waterways*. En ligne [SummaryStudy_engl.pdf \(ebu-uenf.org\)](https://ebu-uenf.org)

Port Autonome de Liège (2024). *Transport fluvial : la Wallonie investit pour développer la multimodalité*. En ligne [20240214 CP - Deux projets du Plan de relance de la Wallonie FINAL \(003\).pdf](https://portautonome.de.liège.be)

Service Public Fédéral Mobilité et Transports (2022). *Le réseau belge des voies navigables et ses gestionnaires*. En ligne mobilit.belgium.be/fr/navigation/navigation-mer-du-nord-belge/routes-maritimes-mer-du-nord/le-reseau-belge-des-voies

SPW (2019). *Voies navigables et intermodalité. Les infos 2019*. En ligne [Direction générale opérationnelle de la Mobilité et des Voies hydrauliques - Actualités/nouvelles \(wallonie.be\)](https://spw.wallonie.be)

SPW (2020). *Plan mobilité et infrastructures pour tous*. En ligne [plan_mobilite_et_infrastructures_2020-2026_repartition_budgetaire.pdf \(wallonie.be\)](https://spw.wallonie.be)

SPW (2020). *Stratégie régionale de mobilité. Volet 2 : marchandises*. En ligne [Stratégie Régionale de Mobilité \(wallonie.be\)](https://spw.wallonie.be)

SPW (2021). *Définition et validation des coûts liés aux externalités du transport de marchandises en Wallonie*. En ligne [externalite-transport-marchandise_2024.pdf \(wallonie.be\)](https://spw.wallonie.be)

SPW (2021). *Transport fluvial de marchandises en Wallonie. Rapport annuel statistique 2021*. En ligne [statistiquesnavigation2021annuel.pdf \(wallonie.be\)](#)

SPW (2021). *20 millions d'€ pour les modes de transports fluviaux et ferroviaires*. En ligne [20 millions € pour les modes de transports fluviaux et ferroviaires \(wallonie.be\)](#)

SPW (2024). *Réouverture de la navigation sur le canal Pommeroeul-Condée reportée*. En ligne [Réouverture de la navigation sur le canal Pommeroeul-Condé reportée \(wallonie.be\)](#)

SPW. *Le réseau hydraulique*. En ligne [Le réseau hydraulique \(wallonie.be\)](#)

Strale, M. (2011). L'évolution récente du transport de marchandises en Belgique. *EchoGéo*. doi : 10.4000/echogeo.12311

Subra, P. (2008). L'aménagement, une question géopolitique ! *Hérodote, Editions La Découverte, 130*, 222-250. doi : 10.3917/her.130.0222

Tilly, P. (2016). Le transport fluvial au cœur des préoccupations et des enjeux contemporains. *Revue belge de philologie et d'histoire, tome 94, fasc. 4*, 1029-1041. doi : 10.3406/rbph.2016.8917

Viapass (2024). *Le prélèvement kilométrique pour les poids lourds de plus de 3,5 tonnes en Belgique*. En ligne [Péage de camions en Belgique | Prélèvement kilométrique | Viapass](#)

VIAS (2024). *Baromètre de la sécurité routière*. En ligne [Baromètre de la Sécurité Routière — VIAS \(vias-roadsafety.be\)](#)

XLSTAT. *Modèle logit conditionnel*. En ligne [Modèle Logit conditionnel | Logiciel statistique pour Excel \(xlstat.com\)](#)

UNIVERSITÉ CATHOLIQUE DE LOUVAIN
Louvain School of Management

Chaussée de Binche 151, 7000 Mons, Belgique | www.uclouvain.be/lsm