

RAPPORT SUR LA MÉTHODOLOGIE DE MODÉLISATION

MODÈLE DE FRET POUR LE MAROC

Forum International des Transports

juin 2024

Le Forum International des Transports

Le Forum International des Transports est une organisation intergouvernementale qui regroupe 69 pays membres. Il sert de laboratoire d'idées au service de la politique des transports et organise chaque année un sommet des ministres des transports. Le FIT est le seul organisme mondial qui couvre tous les modes de transport.

L'ITF œuvre en faveur de politiques de transport qui améliorent la vie des gens. Sa mission consiste à favoriser une meilleure compréhension de l'importance des transports pour la croissance économique, la durabilité environnementale et l'inclusion sociale, et à mieux faire connaître la politique des transports auprès du public.

Nous servons de plateforme de discussion et de pré-négociation des enjeux de la politique des transports, tous modes confondus. Nous analysons les tendances, mettons en commun les connaissances et favorisons les échanges entre les décideurs du secteur des transports et la société civile.

Les membres du Forum sont les suivants : Albanie, Allemagne, Arabie saoudite, Argentine, Arménie, Australie, Autriche, Azerbaïdjan, Belgique, Biélorussie, Bosnie-Herzégovine, Brésil, Bulgarie, Cambodge, Canada, Chili, Chine (République populaire de), Colombie, Corée, Costa Rica, Croatie, Danemark, Émirats arabes unis, Espagne, Estonie, États-Unis, Finlande, France, Géorgie, Grèce, Hongrie, Inde, Irlande, Islande, Israël, Italie, Japon, Kazakhstan, Lettonie, Liechtenstein, Lituanie, Luxembourg, Malte, Maroc, République de Macédoine du Nord, Mexique, République de Moldavie, Mongolie, Monténégro, Norvège, Nouvelle-Zélande, Oman, Ouzbékistan, Pays-Bas, Pologne, Portugal, Roumanie, Fédération de Russie, Serbie, République dominicaine, République slovaque, Slovénie, Suède, Suisse, République tchèque, Tunisie, Türkiye, Ukraine et Royaume-Uni.

Forum international des transports
2 rue André Pascal
F-75775 Paris Cedex 16
contact@itf-oecd.org
www.itf-oecd.org

Résultats du projet ITF

Citez ce travail comme suit : ITF (2024), "Rapport sur la méthodologie de modélisation : modèle de fret pour le Maroc", Forum International des Transports, Livrable pour le projet 'Decarbonising Transport in Emerging Economies (DTEE)'

Abbréviations

AIE	Agence Internationale de l'Énergie
CEPALC	Commission Économique pour l'Amérique Latine et les Caraïbes
CO ₂	Dioxyde de carbone
DCW	Digital Chart of the World
DTEE	Decarbonising Transport in Emerging Economies
EGC	Modèle d'équilibre général calculable
ERFT	Enquête européenne sur le transport routier de marchandises
Eurostat	Bureau statistique de l'Union Européenne
EVP	Équivalents vingt pieds
FUA	Zone urbaine fonctionnelle
gROADS	Global Roads Open Access Data Set
ITF	Forum International des Transports
MENA	Région Moyen-Orient et Afrique du Nord
OACI	Organisation de l'Aviation Civile Internationale
OCDE	Organisation pour la Co-opération et le Développement Économiques
OD	Origine-Destination
OMI	Organisation Maritime Internationale
ONU	Organisation des Nations Unies
PIB	Produit Intérieur Brut
PKM	Voyageurs-kilomètres
RTE-T	Réseau Transeuropéen de Transport
SAF	Carburant d'aviation durable
TAD	Département pour le Commerce et l'Agriculture de l'OCDE
TCAD	Directoire des Actions sur le Transport pour le Climat
TKM	Tonnes-kilomètres
VBMU	Ministère fédéral de l'Environnement, de la Protection de la Nature, de la Sûreté Nucléaire et de la Protection des Consommateurs
VHC	Véhicules lourds
VKM	Véhicules-kilomètres

Table des matières

Un modèle stratégique de fret pour Maroc	5
Objectifs	5
Vue d'ensemble du modèle.....	5
Entrées du modèle	6
Résultats du modèle.....	7
Composants du modèle	8
Aperçu des composantes du modèle	9
Modèle de discrétisation spatiale (centroïdes)	9
Modèle de fret international.....	11
Modèle de fret domestique	18
Affectation de l'équilibre.....	21
Calcul des résultats.....	23
Représentation du Maroc dans le modèle mondial	24
Mesures et hypothèses par scénario	25
Définitions des mesures et description des scénarios : mesures d'offre des transports.....	26
Définitions des mesures et description des scénarios : mesures de demande des transports	28
Définitions des mesures et description des scénarios : Mesures concernant les carburants et les technologies	31

Un modèle stratégique de fret pour Maroc

Objectifs

L'objectif du modèle est de fournir aux décideurs politiques des résultats évaluant les impacts des voies possibles vers la décarbonisation du secteur du transport de marchandises au Maroc jusqu'en 2050. Les résultats sont présentés aux décideurs politiques sous la forme d'un outil de visualisation, dont les principaux résultats découlent de l'analyse. Les utilisateurs de l'outil peuvent visualiser différents résultats issus du modèle de fret pour les trois principaux scénarios : "Fil de l'eau", "Ambition limitée" et "Ambition élevée". Les résultats comprennent la demande (parts de marché et niveaux de mobilité), l'environnement (émissions de carbone du puits à la roue et polluants locaux) et les résultats liés au commerce de ces différents scénarios.

Le cadre de modélisation est développé sur la base du modèle mondial de transport de marchandises de l'ITF, qui a été présenté pour la première fois en 2015¹ et amélioré dans le cadre du projet Horizon 2020 "Décarboniser le transport en Europe" en 2020². Cette note décrit en détail les sources de données, les étapes de modélisation et les mesures politiques de l'outil de modélisation à l'origine des résultats présentés dans l'outil de visualisation partagé avec les autorités marocaines. Il s'agit d'un document de référence pour tout utilisateur de l'outil souhaitant comprendre les hypothèses formulées et les relations entre les différentes variables.

L'outil de visualisation sera remis au Ministère du Transport et de la Logistique, ainsi qu'au Ministère de l'Intérieur du Maroc. L'outil a été développé dans le cadre du projet ITF "Decarbonising Transport in Emerging Economies" (DTEE), financé par le Ministère fédéral de l'Environnement, de la Protection de la Nature, de la Sécurité Nucléaire et de la Protection des Consommateurs (VBMU).

Vue d'ensemble du modèle

Le modèle de fret ITF évalue et fournit des prévisions de scénarios pour les flux de fret dans le monde entier. Il s'agit d'un modèle de réseau qui attribue les flux de marchandises sur tous les principaux modes de transport à des itinéraires, des modes et des liens de réseau spécifiques. Il s'agit des modes aérien, fluvial, maritime, ferroviaire et routier. Le fret maritime comprend des éléments relatifs à l'accès et à la sortie de l'intérieur des terres. Le choix du mode de transport comprend des composantes ferroviaires, routières ou fluviales. Les centres, reliés par des liens de réseau, représentent les zones (pays ou leurs unités administratives) où les marchandises sont consommées ou produites.

Le modèle de fret de l'ITF intègre les modèles de fret de surface et de fret international (qui étaient auparavant distincts dans les versions initiales du modèle). Les flux de fret internationaux et nationaux sont calibrés sur la base des données relatives à l'activité nationale de transport de fret (en tonnes-kilomètres, tkm) communiquées par les pays membres de l'ITF. Ces données sont également utilisées pour valider l'affectation des itinéraires des flux de fret. Les projections commerciales en termes de valeur

¹ Martinez, L. M., J. Kauppila et M. Castaing (2015), "International Freight and Related Carbon Dioxide Emissions by 2050 : New Modeling Tool", *Transportation Research Record : Journal of the Transportation Research Board*, 2477, pp. 58-67, <https://doi.org/10.3141/2477-07>.

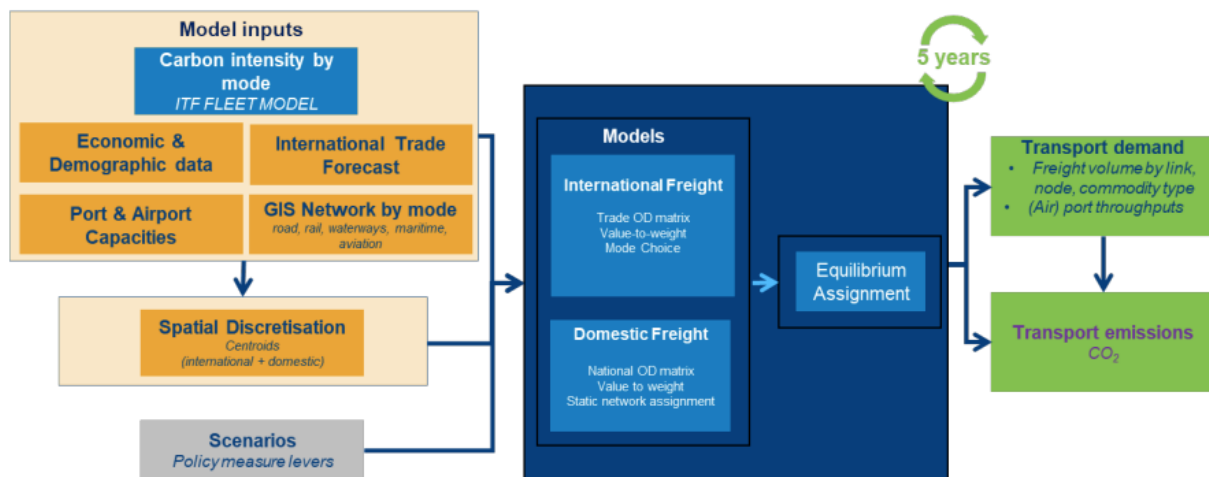
² ITF, "The ITF Non-urban Freight model - Insights and example outputs", projet Horizon 2020 "Decarbonising Transport in Europe", 2020, <https://ec.europa.eu/research/participants/documents/downloadPublic?documentIds=080166e5cc3f060a&appId=PPGMS>

proviennent du modèle de commerce de l'OCDE et sont converties en poids de marchandises (tonnes). Ces mouvements de poids sont ensuite affectés à un réseau de fret intermodal qui se développe au fil du temps conformément aux paramètres du scénario, tels que la disponibilité des infrastructures, les services existants et les coûts connexes.

Le modèle estime l'activité de transport de marchandises pour 20 produits de base pour tous les principaux modes de transport, y compris la mer, la route, le rail, l'air et les voies navigables intérieures. Le réseau sous-jacent contient 8 467 centroïdes, où la consommation et la production de marchandises ont lieu. Parmi ces centroïdes, 1 167 représentent les origines et les destinations (OD) des flux commerciaux internationaux, et 7303 représentent les OD des flux domestiques. Chacun des 152 863 liens du réseau est décrit par plusieurs attributs. Il s'agit notamment de la longueur, de la capacité, du temps de trajet (y compris les temps de passage des frontières) et des coûts de trajet (par tkm).

Figure 1 présente les principaux composants du modèle. Les sections suivantes décrivent les composants plus en détail.

Figure 1. Cadre de modélisation du fret non urbain de l'ITF



Source : ITF

Entrées du modèle

Le modèle nécessite des données d'entrée de quatre catégories principales : les données de prévision commerciale, les données de réseau pour les différents modes, les données économiques, démographiques et géographiques, et les données initiales d'intensité de carbone par mode (Figure 1).

Les données relatives aux prévisions des échanges proviennent du modèle d'équilibre général calculable (EGC) ENV-Linkages de l'OCDE. Le modèle EGC comprend des descriptions de la manière dont les diverses activités économiques sont liées entre elles dans plusieurs régions et secteurs macroéconomiques. Le modèle s'appuie principalement sur une base de données des économies nationales. Chacune des régions est étayée par un tableau d'entrées-sorties économiques, qui est généralement obtenu auprès des agences nationales de statistiques. Dans le modèle ENV-Linkages, le commerce mondial est basé sur un ensemble de flux régionaux et bilatéraux. Tous les flux sont exprimés en termes monétaires, en dollars constants, en utilisant les parités de pouvoir d'achat comme taux de change pour les monnaies nationales.

Le modèle prévoit des flux commerciaux internationaux en valeur pour 26 régions et 25 produits de base jusqu'en 2060³.

Les données du réseau sont principalement basées sur des données SIG ouvertes pour les différents modes de transport. L'ITF a consolidé et intégré différents réseaux modaux en un seul réseau de fret routable. Pour ce faire, les réseaux des différents modes ont été interconnectés en introduisant des liaisons de transport entre les centroïdes et en utilisant des données sur les temps de séjour intermodaux. Chaque liaison du réseau présente un certain nombre de caractéristiques, notamment sa longueur, sa capacité, sa vitesse maximale, son coût, les temps de trajet et le temps de passage des frontières (le cas échéant). Les coûts ont été estimés sur la base des données du réseau, en tenant compte des éléments liés à la distance et au temps.

Les données économiques et démographiques comprennent la population⁴ et les données du PIB pour les régions⁵ associées à chaque centroïde. Les caractéristiques économiques de chaque région comprennent également des données sur la contribution des principaux secteurs de l'économie au PIB. Les principales sources de comptes régionaux détaillés sont la base de données ouverte de la Banque mondiale (<https://data.worldbank.org/>) pour les pays à région unique, Eurostat pour les pays européens (<https://ec.europa.eu/eurostat/web/national-accounts/regional-accounts>) et les comptes nationaux pour les autres pays du monde de plus de 100 millions d'habitants.

Enfin, les données sur l'intensité des émissions de chaque mode, ainsi que leur évolution prévue en fonction des progrès technologiques et logistiques, proviennent d'un modèle de flotte interne.

La section Composantes du modèle fournit de plus amples détails sur les sources de données.

Résultats du modèle

Le modèle fournit des tonnes-kilomètres (tkm) et des véhicules-kilomètres (vkm) pour chaque lien et nœud du réseau de fret, ventilés par mode de transport et type de marchandise. Cela permet de calculer les valeurs correspondantes pour différentes paires origine-destination et pour des itinéraires monomodaux ou multimodaux. Ces résultats peuvent être agrégés au niveau du pays ou à un niveau géographique plus large. Les résultats peuvent également être regroupés par origine ou destination, ce qui permet d'estimer le volume total de marchandises quittant ou arrivant à un centroïde ou à un nœud, ainsi que la répartition de leur estimation et de leurs origines. Le modèle fournit le débit pour chaque port et aéroport, ainsi que pour chaque point de passage frontalier. Il fournit également la répartition modale de l'activité de transport par pays, région ou au total.

Les résultats peuvent être développés et améliorés grâce au modèle de flotte ITF. Ces résultats liés à la demande sont combinés avec des informations sur les intensités de CO2 et les voies technologiques par mode pour estimer les émissions des transports d'ici 2050. Dans le cas de la route et du rail, ces coefficients et ces voies varient selon les régions, tandis que les valeurs pour le maritime et l'aérien sont considérées comme uniformes dans le monde entier.

³ Chateau, J., R. Dellink et E. Lanzi (2014), "An Overview of the OECD ENV-Linkages Model : Version 3", dans OECD Environment Working Papers, No. 65, , <https://doi.org/10.1787/5jz2qck2b2vd-en>

⁴ UN-DESA - Perspectives de la population mondiale 2022, Nations unies.

⁵ OCDE (2022), Perspectives économiques de l'OCDE, Éditions OCDE, Paris, https://doi.org/http://dx.doi.org/10.1787/eco_outlook-v2016-1-en

Les principaux résultats de la combinaison des modèles de flotte et de fret sont les suivants :

- Émissions de CO2 des transports par mode, pays et région
- Activité et émissions par type de véhicule et par tranche de distance, par exemple en indiquant quels types de véhicules sont utilisés pour des trajets de distances variables.

Ces résultats peuvent être utiles pour tester la viabilité et la faisabilité des technologies automobiles nouvelles et à venir. Cela peut permettre de formuler des recommandations politiques afin d'accroître les avantages potentiels de ces technologies.

Composants du modèle

Le modèle a été développé pour estimer l'impact des mesures de politique économique et de transport (par exemple, le développement de nouveaux réseaux d'infrastructure, l'allègement des barrières commerciales), des percées ou améliorations technologiques (par exemple, les véhicules à grande capacité, la transition énergétique du fret routier à longue distance) et des mesures environnementales (par exemple, les mesures d'atténuation des émissions de CO2). Le modèle estime l'activité de fret séparément aux niveaux national et international, convergeant à la fin pour l'utilisation partagée de l'infrastructure de transport de surface dans les pays. Le modèle se compose des éléments suivants (voir Figure 1)

1. Modèle de discrétisation spatiale
2. Modèle de fret international
3. Modèle de fret domestique
4. Module d'affectation de l'équilibre
5. Module de sorties

Une fois que tous les composants sont définis, le modèle est calculé de manière séquentielle, comme indiqué dans la Figure 1. Les résultats comprennent la valeur, le poids et la distance parcourue (avec la spécification du chemin) entre 2010 et 2050 pour chaque paire de centroïdes, ainsi que le mode, le type de marchandise et l'année découlant du commerce international.

Le modèle est mis à jour tous les cinq ans et prévoit des scénarios jusqu'en 2050. En outre, un modèle adapté pour les années 2019, 2020 et 2022 vise à reproduire avec précision l'effet de la pandémie COVID-19 sur la demande de fret. Par conséquent, il convient de prendre en compte les changements futurs potentiels du réseau de transport de marchandises sous-jacent. Ces changements peuvent prendre la forme de mises à jour de la disponibilité des infrastructures, de la capacité ou de la vitesse de certaines liaisons de transport, ou des coûts de transport qui peuvent évoluer dans le temps en raison des changements technologiques. Ces mises à jour potentielles sont prises en compte dans le modèle par le biais de variables de scénario qui sont mises à jour en fonction d'un "calendrier de développement" du scénario. L'utilisateur du modèle peut facilement modifier les paramètres d'entrée. Par exemple, pour l'Europe, un calendrier détaillé représentant le développement du réseau RTE-T, tenant compte de ses attributs, a été mis en œuvre, de même que des informations sur les terminaux intermodaux européens, y compris leurs temps de retard prévus⁶.

⁶ Des informations détaillées sont disponibles à l'adresse [suivante](https://transport.ec.europa.eu/transport-themes/infrastructure-and-investment/trans-european-transport-network-ten-t_en) : https://transport.ec.europa.eu/transport-themes/infrastructure-and-investment/trans-european-transport-network-ten-t_en et <http://www.intermodal-terminals.eu/database>

Aperçu des composantes du modèle

Modèle de discrétisation spatiale (centroïdes)

Ce sous-modèle définit deux ensembles différents de centroïdes : les centroïdes du fret international et les centroïdes du fret national.

Centroïdes de fret international

Les centroïdes de fret international sont utilisés pour discrétiser les flux régionaux de commerce OD en un plus grand nombre de centroïdes de production/consommation. Une telle discrétisation permet de mieux décomposer le trajet emprunté par les différents types de produits et d'obtenir une meilleure représentation des flux de fret réels.

Pour identifier les centroïdes, un algorithme adapté de *couverture des ensembles* a été mis en œuvre sur la base d'un ensemble de centroïdes potentiels. Ces centroïdes potentiels sont toutes les villes du monde ayant une population de plus de 300 000 habitants, telles qu'identifiées par les Nations Unies en 2015 (2 539 villes)⁷. L'algorithme minimise le nombre de centroïdes sous la contrainte qu'un seul centroïde peut exister dans un rayon de 500 km (dans le même pays), tandis que la totalité de la surface terrestre du globe doit être attribuée à un centroïde.

L'algorithme a été adapté pour les régions où un niveau de détail spatial plus élevé était souhaité en vue d'études futures potentielles par l'ITF. Par exemple, pour l'Union européenne, le niveau de résolution adapté était le niveau NUTS3 dans les régions où une zone urbaine fonctionnelle (FUA) est présente et NUTS2 pour les autres (chacune des régions NUTS3 ou NUTS2, le cas échéant, est représentée par un centroïde).

En conséquence, 1 164 centroïdes ont été définis. Chaque centroïde porte le nom de la ville la plus représentative de la région qu'il représente. La zone d'influence de chaque centroïde est calculée sur la base d'une carte matricielle de la surface du globe. Chaque cellule matricielle est affectée à un centroïde en fonction de la distance qui la sépare du centroïde. Les cellules situées dans un pays seront toujours assignées à un centroïde situé dans ce même pays. Chaque centroïde est caractérisé par des indicateurs de population et de PIB. Pour obtenir des estimations de ces indicateurs, les cellules matricielles ont été reliées aux estimations de la population mondiale⁸ et aux informations matricielles sur le PIB⁹.

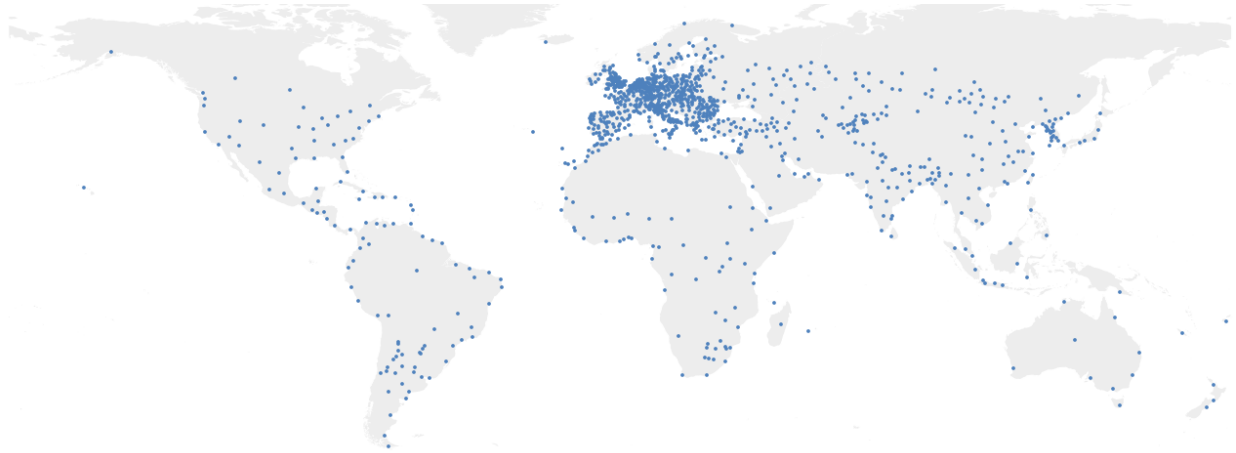
⁷ ONU (2015), Perspectives de la population mondiale, Nations unies, (Vol. 1) Nations unies, Département des affaires économiques et sociales, Division de la population, <https://doi.org/10.1017/CBO9781107415324.004>

⁸ CIESIN - Columbia University (2018), "Gridded Population of the World, Version 4 (GPWv4) : Population Count, Revision 11", NASA Socioeconomic Data and Applications Center (SEDAC).

⁹ Kummu, M., M. Taka et J. H. A. Guillaume (2018), "Gridded global datasets for Gross Domestic Product and Human Development Index over 1990-2015", Scientific Data, Vol. 5, <https://doi.org/10.1038/sdata.2018.4>

Figure 2 donne un aperçu des centroïdes de fret international qui ont été définis dans le modèle de fret de l'ITF.

Figure 2. Centroïdes du fret international



Centroïdes du fret domestique

Les centroïdes du fret domestique définissent les origines et les destinations des flux de fret domestique. Ces centroïdes sont estimés par un algorithme de *couverture d'ensemble* similaire à celui décrit ci-dessus. Il utilise des données matricielles sur le PIB pour identifier la cellule matricielle la plus représentative dans un rayon de 100 km. Le modèle produit un total de 7303 centroïdes domestiques. Comme pour les centroïdes de fret international, la zone d'influence de chaque centroïde de fret national est calculée sur la base d'une carte matricielle de la surface du globe. Les estimations de population et de PIB sont liées à chaque centroïde tout en respectant les frontières des pays. Pour ce faire, chaque cellule matricielle est assignée à un centroïde situé dans le même pays que la cellule matricielle, en fonction de sa distance au centroïde. Figure 3 donne un aperçu des centroïdes de fret domestique qui ont été définis dans le modèle de fret de l'ITF.

Figure 3. Centroïdes du fret domestique



Modèle de fret international

Ce modèle comprend un sous-modèle de réseau intermodal mondial, des projections de commerce international sous-jacentes, un sous-modèle de conversion poids-valeur et un sous-modèle de part de marché modale.

Modèle de réseau mondial intermodal

L'une des principales contributions du modèle de fret de l'ITF est la consolidation et l'intégration des différents réseaux modaux en un seul réseau de fret. L'encadré 1 donne un aperçu des sources de données qui ont été utilisées pour établir les informations respectives sur les réseaux de transport dans le modèle.

Encadré 1. Sources d'information sur les réseaux de transport mondiaux

- Les informations sur les **réseaux routiers** proviennent du Global Roads Open Access Data Set (gROADS) (<http://sedac.ciesin.columbia.edu/data/set/groads-global-roads-open-access-v1>) et d'OpenStreetMap (www.openstreetmap.org). Seuls les premier et deuxième réseaux routiers sont pris en compte (c'est-à-dire les autoroutes, les routes principales et les routes pour camions).
- Pour le **réseau ferroviaire**, le modèle utilise les données du projet Digital Chart of the World (DCW) (<http://www.princeton.edu/~geolib/gis/dcw.html>) qui sont mises à jour avec les données d'OpenStreetMap sur les lignes et les gares ferroviaires en tant que points de connexion intermodaux entre la route et le rail.
- **Les routes maritimes** sont obtenues à partir des données du Global Shipping Lane Network du Oak Ridge National Labs CTA Transportation Network Group (http://www-cta.ornl.gov/transnet/Intermodal_Network.html), qui génère un réseau routable avec des temps de trajet réels pour différents segments maritimes. Ce réseau est relié aux ports sur la base des données de la dernière World Port Index Database de la National Geospatial-Intelligence Agency (<http://msi.nga.mil/NGAPortal/MSI.portal>).
- **Les liaisons aériennes** commerciales entre les aéroports internationaux ont été intégrées en utilisant les données de la base de données OpenFlights.org sur les aéroports, les liaisons aériennes commerciales et les compagnies aériennes (www.OpenFlights.org).
- **Les voies navigables** du monde entier ont été collectées dans le cadre du projet DIVA-GIS (<https://www.diva-gis.org>). Leur navigabilité a été évaluée à l'aide d'informations spécifiques sur les rivières et les sections navigables.
- Des informations sur les **oléoducs et les gazoducs** ont également été obtenues sur OpenStreetMap (www.openstreetmap.org).

Tous les réseaux de transport susmentionnés ont été interconnectés avec des liaisons routières (*connecteurs*) qui relient les centres au réseau et interconnectent également les différentes infrastructures de transport (par exemple, route-rail, route/rail-ports, etc.). Le modèle utilise les vitesses moyennes basées sur les informations disponibles par région pour calculer les temps de trajet estimés pour les différents types d'infrastructures de transport, ainsi que les temps de séjour entre les modes de transport. Les temps de passage aux frontières ont été estimés sur la base des ensembles de données disponibles auprès de TAD/OCDE (<http://www.oecd.org/trade/topics/trade-facilitation/>).

Les sources de données fournies dans l'encadré 1 ont également été utilisées pour établir les coûts de transport pour les différentes liaisons. Ces coûts comprennent une composante de coût basée sur la distance et une composante de coût basée sur le temps.

Les éléments de coût basés sur la distance pour chaque type d'infrastructure sont mis en correspondance avec une valeur unitaire différente par région ou pays, en tenant compte de la qualité/performance de l'infrastructure, des coûts du carburant/de l'énergie et des coûts de la main-d'œuvre dans le secteur des transports. La méthodologie de ces calculs a été obtenue auprès de Tavasszy et al. (Tavasszy, Minderhoud, Perring et Notteboom, 2011), qui ont établi un processus d'estimation des indicateurs pour les coûts totaux d'une liaison ou d'un réseau. Les valeurs obtenues pour des pays spécifiques ont été calibrées pour correspondre aux parts modales déclarées par ces pays.

L'élément de coût basé sur le temps reflète la valeur du temps de déplacement. Une valeur globale moyenne du temps par heure et par tonne de 0,196 dollar/tonne est tirée de Tavasszy et al. (2011). Les valeurs du temps spécifiques aux marchandises sont estimées dans le modèle de choix du mode de transport, où une sensibilité au temps distincte est obtenue pour chaque type de marchandise et de transport (marchandises conteneurisées, vrac sec, vrac liquide, matériel de transport -RoRo et marchandises générales, avec plus de détails dans le tableau 2).

Le modèle de réseau calcule les plus courts chemins en flux libre entre tous les centroïdes pour chaque mode de transport (si le mode est disponible), générant des entrées utilisées dans les principaux modèles économétriques (modèle poids-valeur et modèle de part de marché) présentés ensuite. Ces données sont les suivantes :

- Le coût, le temps de déplacement et la distance par mode pour relier chaque paire de centroïdes ;
- Les plus courts chemins entre les centres pour chaque mode de transport

Projections sous-jacentes du commerce international

Les projections commerciales sous-jacentes qui sont utilisées comme entrée dans le modèle sont désagrégées en 26 régions du monde. Ce niveau de résolution ne permet pas d'estimer les flux de transport avec précision car il ne permet pas une discrétisation adéquate des trajets des différents types de produits. Par conséquent, le modèle désagrège les flux commerciaux régionaux origine-destination (OD) dans l'ensemble des centres de production/consommation tels que définis dans le modèle de discrétisation spatiale. La procédure de désagrégation suppose une proportionnalité du commerce par rapport au PIB et utilise des informations sur le PIB et la population basées sur des trames pour désagréger les estimations commerciales au niveau régional. Elle fait correspondre ces informations à l'année de base (2019) si elles sont disponibles dans l'ensemble de données Comtrade (2022) de l'ONU. Le PIB utilisé dans la désagrégation de chaque marchandise ne prend en compte que le PIB créé dans le secteur économique concerné. Il est déterminé comme une part nationale ou régionale (en fonction de la disponibilité des données) de chaque secteur économique multipliée par le PIB estimé basé sur les taux.

Dans le PIB de l'UE, la désagrégation NUTS3 ou NUTS2 a été utilisée pour estimer cette part.

Les projections de croissance des centroïdes sont basées sur les taux de croissance au niveau national obtenus à partir des projections économiques 2020 de l'OCDE. Comme les taux de croissance ne sont

disponibles qu'au niveau national, la répartition de l'activité commerciale des centroïdes au sein du même pays que la source/destination du commerce est maintenue constante au fil du temps.

L'équation qui en résulte pour l'estimation des flux commerciaux entre les centroïdes (paires OD) pour chaque type de marchandise est la suivante

$$T_{odk}^y = T_{VLk}^y \frac{GDP_o^y \cdot S_{of(k)}}{\sum_{v=1}^V GDP_v^y \cdot S_{vf(k)}} \frac{GDP_d^y}{\sum_{l=1}^L GDP_l^y} \quad (1)$$

Où
 T_{odk}^y = valeurs des échanges entre le centroïde o et le centroïde d au cours de l'année y pour le produit k ,
 T_{VLk}^y = valeurs commerciales de la région d'origine V vers la région de destination L au cours de l'année y ,
 $S_{of(k)}$ = part du PIB liée au même secteur économique du produit k dans la région ou le pays du centroïde o ,
 o, d = centroïdes d'origine et de destination,
 k = produit de base k ,
 y = année d'analyse,
 k = centroïde appartenant à la région d'origine V ,
 l = centroïde appartenant à la région de destination L .

Modèle de valeur pondérale pour le commerce international

La conversion des unités de valeur (dollars) en unités de poids de la cargaison (tonnes) a été formulée sous la forme d'un modèle de régression de Poisson. Le modèle estime le taux de conversion de la valeur en poids, en utilisant comme variable de compensation le logarithme naturel de la valeur commerciale en millions de dollars et un terme de panel représentant la sensibilité des différents types de marchandises aux coûts de transport. Le choix de cette méthode de régression est basé sur l'observation de la distribution statistique de l'échantillon qui correspond mieux à une distribution statistique discrète qu'à une distribution continue, en particulier pour les faibles relations commerciales. L'équation du modèle est la suivante :

$$E(y) = F \cdot \exp(a + X\beta) + \varepsilon \quad (2)$$

Où F est le facteur d'exposition et X représente la composante systématique du modèle de régression de Poisson.

Le modèle a été calibré à l'aide des données d'exportation d'Eurostat et de la CEPALC ⁽¹⁰⁾ fournies en unités de valeur et de poids et à l'aide d'informations sur les coûts de transport (provenant du modèle de réseau, comme indiqué ci-dessus). Des variables géographiques et culturelles ont également été utilisées pour estimer les paramètres du modèle : des variables binaires ont été introduites pour les accords commerciaux et les frontières terrestres et pour indiquer si deux pays utilisent la même langue officielle.

¹⁰ <https://sgo-win12-we-e1.cepal.org/dcii/sigci/sigci.html>

En outre, des variables de profil économique ont été incluses pour décrire les relations commerciales entre les pays et l'ampleur de l'intensité des échanges. Ces variables sont les suivantes

- Le centile du PIB du pays d'origine ($p\% GDP_i$) ;
- Le centile du PIB du pays de destination ($p\% GDP_j$);
- Le centile du PIB par habitant du pays d'origine ($p\% GDP\ capita_i$) ;
- Le centile du PIB par habitant du pays de destination ($p\% GDP\ capita_j$);
- Le logarithme naturel du ratio du PIB par habitant entre les pays d'origine et de destination ($\ln \frac{GDP\ capita_i}{GDP\ capita_j}$).

Toutes les variables économiques ont été définies en utilisant un ordre relatif des pays en termes de percentiles au lieu de leurs valeurs absolues. Ceci afin d'éviter tout effet disproportionné dans la relation future entre la valeur et le poids. On ne s'attend pas à ce que des changements se produisent, car on ne suppose pas que les produits deviendront plus légers pour la majorité des marchandises, en particulier en ce qui concerne les matières premières, ni qu'une perturbation du marché modifiera de manière significative l'évaluation de certaines marchandises par rapport à d'autres.

Par conséquent, les valeurs estimées par le modèle supposent une stabilité à la fois de l'évaluation des produits de base dans le temps et de la manière dont les indicateurs de productivité peuvent les influencer. Cependant, la conversion de la valeur pondérée de certains produits liés au marché de l'énergie, tels que le pétrole brut, le pétrole raffiné, le gaz et le charbon, dépendra fortement du prix de ces matières premières au fil du temps. C'est pourquoi la conversion en valeur pondérée de ces produits a été indexée sur la valeur prévue par l'AIE/OCDE (AIE, 2018b) afin de garantir la cohérence du volume d'échanges prévu pour les prochaines décennies.

Le modèle a été estimé en gardant l'effet minimum de la somme logarithmique des coûts positif et tous les produits sensibles aux coûts. La valeur seuil minimale de 0,025 a été estimée pour les termes du panel sur la base des observations de l'ensemble des données. La somme logarithmique tient compte des coûts généralisés, en incorporant les termes de coûts basés sur le temps et la distance.

Tableau 1 présente les résultats de l'étalonnage du modèle.

Tableau 1. Résultats de l'étalonnage du modèle de la valeur pondérale

Paramètres	Coefficient	Valeur p/ niveau de signification
Interception	-13.907	0.00
Profil économique des pays		
$p\% GDP_i$	0.123	0.02
$p\% GDP_j$	-0.074	0.11
$p\% GDP\ capita_i$	-2.22	0.00
$p\% GDP\ capita_j$	1.08	0.00
$\ln GDP\ capita_i / GDP\ capita_j$	0.686	0.00
Relations économiques, géographiques et culturelles entre les pays		
$Land\ border_{ij}$	-0.406	0.00
$Same\ language_{ij}$	0.133	0.01
$Trade\ agreement_{ij}$	0.114	0.03
Coût du panel de produits de base $\logsum\ cost\ dollartonne$		

Produits chimiques	- 0.136	0.12
Charbon	- 1.679	0.00
Pétrole brut	- 0.395	0.00
Électronique	- 1.161	0.00
Pêche	- 0.392	0.01
Produits alimentaires	- 1.324	0.00
Sylviculture	- 0.244	0.01
Gaz	- 2.573	0.00
Fer et acier	- 2.335	0.00
Bétail	- 0.277	0.01
Produits métalliques	- 1.187	0.00
Métaux non ferreux	- 0.025	-
Minéraux non métalliques	- 1.233	0.00
Autres activités manufacturières	- 0.025	-
Autres activités minières	- 0.025	-
Papier, pâte à papier et impression	- 0.245	0.00
Pétrole et coke	- 1.147	0.00
Riz et cultures	- 0.524	0.00
Textiles	- 0.195	0.06
Matériel de transport	0.025	-
(échelle)	1	
Pseudo- ρ^2	0.73	
Corrélation (y, y^*) ²	0.92	

Source : ITF

L'adéquation globale du modèle est élevée et montre la capacité du modèle à prédire la conversion des valeurs commerciales en volumes commerciaux (en tonnes). Le modèle reproduit bien les tendances du marché. La variable relative aux accords commerciaux s'avère être un facteur explicatif pertinent ; les marchandises plus chères sont généralement transportées plus loin. Toutes les variables économiques se sont révélées significatives, présentant des relations intéressantes pour le rapport poids-valeur. Les coefficients de $p\% GDP_i$ et $p\% GDP capita_j$ ont un signe positif, ce qui indique que les grandes économies ont tendance à exporter des poids/valeurs plus importants et que les pays de destination plus riches ont tendance à importer de plus grandes quantités. On observe un comportement assez symétrique en termes de taille des marchés de destination et de leur richesse, ce qui montre que pour les pays moins développés, il est plus coûteux d'accéder aux produits sur le marché. Lorsqu'il existe une grande différence de richesse entre les pays, le modèle prévoit l'importation de biens de plus grande valeur dans le pays le plus riche.

La relation culturelle entre les pays (définie comme une valeur binaire qui prend la valeur 1 si le pays d'origine et le pays de destination ont une langue officielle commune et/ou ont eu une relation coloniale dans le passé) s'est également avérée significative. De telles relations entre pays conduisent à des exportations relativement plus importantes de produits de plus grande valeur. Inversement, les pays ayant une frontière terrestre ont tendance à exporter de plus grandes quantités en raison de coûts d'exportation plus faibles.

En ce qui concerne la sensibilité des types de marchandises aux coûts de transport, on constate que les marchandises en vrac (liquides ou solides) ont tendance à être assez sensibles aux coûts. Par exemple, les textiles et autres produits manufacturés sont moins sensibles aux coûts de transport. La valeur obtenue pour les composants électroniques est également assez élevée, ce qui montre que les volumes d'échanges de produits électroniques sont très sensibles aux coûts de transport.

Modèle de répartition modale pour le fret international

Le modèle de répartition modale pour les flux internationaux de marchandises (en tonnes) définit le mode de transport utilisé pour les échanges entre toute paire de centroïdes OD. Les modes comprennent le transport aérien, ferroviaire, routier, fluvial et maritime. Le mode global attribué à chaque connexion commerciale représente la plus longue étape de transport dans une chaîne de déplacement multimodale. Tout le fret est généralement transporté sur des chaînes multimodales, d'autant plus que le premier et le dernier tronçon sont généralement différents du mode de transport principal. Ces dernières composantes nationales des mouvements internationaux de fret ne sont souvent pas prises en compte dans la littérature. Le modèle ITF intègre ces composantes. Dans le cas du transport maritime, le modèle distingue l'un des trois modes d'accès (rail, route ou voies navigables, comme le montre la Figure 4), tandis que pour les autres modes non routiers, le mode d'accès est toujours supposé être la route.

Figure 4. Modes de transport distingués par le modèle



Le modèle utilise une formulation logit multinomiale imbriquée, comprenant un terme de panel de type de marchandise temporelle et un terme de panel de type de coût de fret. La formulation mathématique est la suivante :

$$U_{nj} = X'_{nj}\beta + Z'_s\alpha + \varepsilon_{nj} \quad (3)$$

où Z'_s représente les caractéristiques des nids, et ε suit une valeur extrême généralisée (GEV). ε_{nj} a une fonction de distribution cumulative conjointe des termes d'erreur, qui est définie par

$$F(\varepsilon_{n1}, \varepsilon_{n2}, \dots, \varepsilon_{nj}) = \exp\left(-\sum_{s=1}^S \left(\sum_{j \in B_s} e^{-\varepsilon_{nj}/\lambda_s}\right)^{\lambda_s}\right) \quad (4)$$

Où λ_s représente le paramètre de nidification qui caractérise chaque nid appartenant à S .

Le modèle a été calibré à l'aide d'ensembles de données d'exportation d'Eurostat et de la CEPALC, qui contiennent des informations sur la valeur, le poids et le mode de transport des exportations de l'UE et de l'Amérique latine vers le reste du monde. Pour chaque paire de DOM, nous estimons la part modale en poids par groupe de marchandises. Les données sur les temps de trajet et les distances pour chaque mode ont été tirées du modèle de réseau mondial au niveau du centroïde. Deux variables binaires de contexte géographique et économique ont été ajoutées : l'une décrivant si la paire de pays a un accord commercial et l'autre pour l'existence d'une frontière terrestre. Pour chaque paire de DOM, les modes disponibles ont été identifiés (par exemple, la connectivité terrestre). Certaines catégories de marchandises, telles que le charbon et le pétrole brut, ne peuvent pas être transportées par voie aérienne.

L'ensemble de données contenait 17 427 observations, avec une part modale moyenne pondérée en unités de poids de 19 % pour la route, 1 % pour l'avion, 79 % pour la mer et seulement 1 % pour le rail. Le

modèle calibré a un indice de rapport de vraisemblance (pseudo-rho carré) $\rho^2 = 0,64$, ce qui montre un très fort pouvoir explicatif du choix du mode de transport. Toutes les variables explicatives sont statistiquement significatives (voir **Tableau 2**).

Tableau 2. Résultats de l'étalonnage des parts de marché du fret international en fonction de la valeur des échanges

Variable	Coefficient	Test t robuste	Valeur p robuste
Constante spécifique au mode			
Air	-2.921	-41.50	0.00
Rail	-2.024	-40.22	0.00
Route	0.150	12.42	0.00
Lambda (paramètre de nidification)	0.754	2.56	0.00
Mer - accès par la route	0.963	1.87	0.01
Mer - accès par voie ferrée	0.550	2.01	0.00
Mer - accès par voies navigables	1.050	1.65	0.02
Voies navigables	-0.801	1.52	0.04
Durée du panneau de commodité (1 000 heures)			
Produits chimiques	-0.191	-6.14	0.00
Charbon	-0.002	-15.21	0.00
Pétrole brut	-0.153	-25.64	0.00
Électronique	-0.383	-157.44	0.00
Pêche	-0.097	-99.28	0.00
Alimentation	-0.305	-33.33	0.00
Sylviculture	-0.010	-32.89	0.00
Fer et acier	-0.014	-30.19	0.00
Bétail	-0.096	-2.65	0.00
Produits métalliques	-0.393	-32.11	0.00
Métaux non ferreux	-0.112	-23.14	0.00
Minéraux non métalliques	-0.006	-52.56	0.00
Autres activités manufacturières	-0.177	-40.15	0.00
Autres activités minières	0.000	0.00	-
Papier, pâte à papier et impression	-0.045	-39.6	0.00
Pétrole et coke	-0.003	-15.14	0.00
Riz et cultures	-0.008	-22.11	0.00
Textiles	-0.008	-2.81	0.00
Matériel de transport	-0.102	-35.18	0.00
Type de coût durée du panneau (1 million de dollars)			

Basé sur des conteneurs	0.03	-4.78	0.00
Vrac sec	0.06	-10.24	0.00
Cargo général	0.02	-5.38	0.00
Vrac liquide	-0.07	-13.25	0.00
Matériel de transport (Ro-Ro)	-0.02	-6.51	0.05
Variables géopolitiques (effets des accords commerciaux - TA, frontières terrestres - LB)			
TA (rail et route)	1.33	4.47	0.00
Rail LB	0.978	28.11	0.00
Route LB	1.33	92.99	0.00

Les résultats montrent une relation plus étroite entre l'alternative maritime et les matières premières de faible valeur et les produits non périssables. Les variables liées au transport présentent un comportement intéressant qui distingue clairement le transport maritime des autres options disponibles. Alors que l'augmentation du temps de trajet réduit l'utilité du transport maritime, les aspects liés au coût garantissent l'attractivité de ce mode. En général, l'utilité d'une liaison commerciale maritime dépend de l'équilibre entre le coût et le temps de trajet, souvent défini par des routes maritimes spécifiques et/ou des connexions possibles. Les routes maritimes qui nécessitent un détour important par rapport à la liaison directe sont moins attrayantes. Les routes maritimes entre l'Europe et l'Asie qui n'empruntent pas le canal de Suez en sont un exemple.

Le fret aérien a un terme indépendant très négatif en raison de l'impossibilité d'envoyer de gros volumes ou de problèmes de sécurité pour des marchandises spécifiques (produits chimiques, caoutchouc et plastique, pétrole raffiné, bétail, autres métaux, autres minéraux, charbon, fer et acier, pétrole brut, autres activités minières, riz, cultures et gaz). L'absence de vols directs est également très pénalisante (elle augmente la durée du voyage et réduit considérablement l'utilité). La route et le rail présentent des comportements d'utilité similaires. Cependant, la constante spécifique alternative pour le rail est très négative. Cela indique que (bien que le coût de ce mode soit nettement inférieur à celui de la route) son attrait est relativement faible en raison des exigences opérationnelles qui entraînent des retards importants et des problèmes de fiabilité. Cela s'explique en partie par le grand nombre d'opérateurs ferroviaires impliqués dans le transport ferroviaire transnational.

D'autres éléments importants sont les variables géopolitiques :

- Les accords commerciaux entre les pays semblent favoriser le transport terrestre, ce qui indique une simplification potentielle des procédures de franchissement des frontières ;
- Une frontière terrestre entre les pays favorise les exportations par la route et le rail. Toutefois, cette tendance est plus marquée pour la route, car les problèmes potentiels d'interopérabilité ferroviaire sont toujours présents.

Modèle de fret domestique

La modélisation du fret domestique ne suit pas l'approche traditionnelle en quatre étapes puisqu'aucune estimation des échanges entre les différentes régions et villes d'un pays n'est disponible. Le modèle s'écarte de l'estimation de l'activité totale de fret et suit un modèle gravitationnel pour comprendre comment le commerce total se divise en une matrice OD entre les centroïdes du fret domestique.

Pour chaque pays, l'impédance gravitationnelle et la distance pour chaque mode disponible entre les centroïdes de fret domestique permettent d'estimer une distance moyenne de déplacement domestique. L'activité totale de fret domestique (en tkm) est ensuite divisée par la distance moyenne pour obtenir le poids moyen du fret. Ce poids peut ensuite être attribué au réseau en suivant les matrices OD et le chemin le plus court entre les centroïdes domestiques pour les différents modes disponibles.

Les deux principales étapes de ce modèle sont présentées ci-dessous.

Estimations de l'activité totale de fret de surface

L'activité totale de fret de surface en tonnes-kilomètres est estimée par pays. Cela comprend tous les mouvements par route, rail et voies navigables intérieures à l'intérieur des frontières de chaque pays, y compris le transport de nature internationale et nationale, ainsi que le transport de marchandises en milieu urbain.

Un modèle de régression de Poisson a été utilisé et calibré sur des échantillons de données provenant de 51 pays entre 2010 et 2015 avec 306 observations. Les observations couvrent tous les principaux pays qui correspondent à plus de 80 % des mouvements de fret de surface dans le monde (en tonnes-kilomètres). L'évaluation des données et les tests approfondis ont montré que l'utilisation d'une distribution statistique discrète est plus appropriée que l'utilisation d'une distribution continue (par exemple, log-normale) étant donné la large gamme de valeurs et de comportements des pays. Le logarithme naturel du PIB lié à l'industrie et à l'agriculture présente une corrélation plus forte avec l'activité de fret que le PIB *en tant que tel*. C'est pourquoi il a été utilisé comme facteur de compensation (ou d'exposition) dans la fonction. Plus que tout autre facteur, il oriente la tendance et détermine le volume de transport dans chaque pays. Les autres variables sont liées à la géographie du pays, aux réseaux de transport et à la structure socio-démographique et économique (

Tableau 3). L'équation qui en résulte est la suivante :

$$E(y) = F \cdot \exp(a + X\beta) + \varepsilon \quad (5)$$

Où F est le facteur d'exposition et X représente la composante systématique du modèle de régression de Poisson.

Les résultats de l'étalonnage du modèle montrent le nombre de facteurs qui favorisent les volumes de transport de marchandises par voie de surface. Il s'agit notamment de la taille du pays, de l'existence de grands ports, du fait d'être enclavé ou d'avoir des rentes de ressources naturelles et des exportations de minerais et de métaux qui représentent une part importante du PIB (>12%). La situation géographique et les infrastructures de transport permettant le transit jouent également un rôle important. À l'inverse, un PIB par habitant et une densité de population très élevés tendent à réduire l'activité, ce qui signifie que les économies riches sont moins intensives en transport. De même, dans les pays à forte densité de population, l'activité de transport de marchandises est moindre, car les distances à parcourir sont plus courtes.

Tableau 3. Résultats de l'étalonnage de l'activité totale de fret de surface

Paramètres	Coefficient	z - valeur	Importance
Interception	-14.890	-22723.6	0.00
Profils des pays			
Connectivité pour le transit (1 000 000 km)	1.871	796.3	0.00
Densité de population (1 000 habitants/m ²)	-1.057	-574.9	0.00
Terres arables (1 000 000 m ²)	0.516	1323.1	0.00
Variables fictives			
Voies navigables (en activité)	0.214	522.9	0.00
Grands ports (dans le 90e centile des ports en termes de capacité)	0.191	385.4	0.00
Enclavé	0.438	640.5	0.00
Rentes des ressources naturelles et exportations de minerais/métaux	0.249	668.8	0.00
Croissance rapide (plus de 5% de croissance du PIB)	0.192	552.5	0.00
Grands pays en termes de superficie (>1 200 000 km ²)	0.702	1283.8	0.00
PIB par habitant très faible (< 4000 USD)	0.304	358.3	0.00
Faible PIB par habitant (4000 - 20 000 USD)	0.364	-493.0	0.00
PIB par habitant très élevé (> 40 000 USD)	- 0.316	568.8	0.00
(échelle)	1		
Pseudo-ρ ²	0.94		
Ajusté ρ ²	0.99		

Note : Compensation (paramètre avec coefficient 1) pour le PIB lié à l'industrie et à l'agriculture. Source : ITF : ITF

Toutes les variables du modèle sont significatives et le pseudo-R au carré a une valeur élevée de 0,94.

Les sources de données pour les mouvements de fret comprennent la base de données sur le fret de surface de l'ITF (ITF, 2017a) Eurostat, US DOT, et d'autres agences statistiques nationales. La composition du PIB et l'intensité des ressources naturelles dans l'économie ont été obtenues à partir de la base de données de la Banque mondiale. La capacité des ports provient de l'ensemble de données développé pour l'ITF. (ITF, 2016). La *connectivité pour le trafic de transit* est un indicateur qui mesure les routes-kilomètres qui peuvent être empruntées dans chaque pays pour les mouvements entre des pays contigus ou des pays qui partagent les mêmes accords commerciaux. Le réseau routier mondial et les centroïdes pour le commerce international ont été utilisés pour ce calcul.

Une partie de l'activité estimée par ce modèle est déjà affectée au réseau puisqu'elle provient du commerce international. Le réseau intermodal mondial n'inclut pas l'activité urbaine, de sorte que les volumes totaux de fret urbain par pays sont pris en compte, y compris les estimations d'émissions, mais aucun choix de mode ou d'allocation de réseau n'est effectué. La part de l'activité de transport de marchandises urbaine par rapport à l'activité non urbaine dans chaque pays est obtenue à partir de la base de données MoMo de l'AIE (AIE, 2018b) par défaut. Ces informations sont complétées par les informations de l'enquête nationale de l'ITF pour les pays membres.

L'activité qui ne correspond pas à des mouvements urbains ou liés au commerce international est soumise au choix du mode d'acheminement à l'aide d'une procédure d'affectation "tout ou rien" (voir la section suivante).

Choix du mode d'acheminement pour le fret domestique

L'activité de fret domestique (en tkm) est estimée en fonction des estimations de l'activité de fret international et du poids du fret domestique (en t).

Les chemins les plus courts entre tous les centroïdes d'un même pays sont calculés pour tous les modes de transport de surface existants (route, rail et voies navigables) en tenant compte de leurs caractéristiques (par exemple, le coût et la durée du voyage). Une gravité simple avec la formulation suivante est appliquée :

$$V_{ij} = p_i * P_i * q_j * C_j * f(c_{ij}) \quad (6)$$

Dans cette équation, V_{ij} désigne le fret transporté de la zone i à la zone j , tandis que P_i et C_j sont la production et la consommation déclarées de fret dans les zones correspondantes, multipliées par des facteurs de multiplication propres à chaque zone p_i et q_j . Ces facteurs sont multipliés par la fonction f qui détermine l'accessibilité de la zone de destination sur la base du coût généralisé entre les zones c_{ij} :

$$f(c_{ij}) = e^{-\beta c_{ij}} \quad (7)$$

Dans cette fonction, β est un paramètre de sensibilité estimé à 0,00045, tandis que c_{ij} définit l'impédance entre les centroïdes (c'est-à-dire les zones qu'ils représentent), en tenant compte des temps et des coûts de déplacement. Le modèle génère une distribution des flux origine-destination par mode au sein d'un même pays. La matrice qui en résulte permet d'estimer la distance moyenne d'un mouvement de fret et de convertir les tkm en poids. Ces flux (en termes de poids) sont affectés au modèle de réseau de transport intermodal et sont soumis à la congestion potentielle résultant également du trafic international.

Affectation de l'équilibre

Le modèle utilise une procédure itérative d'affectation à l'équilibre avec des mises à jour des temps de parcours et des coûts à chaque itération (5 ans). Il tient également compte des mises à jour des infrastructures de transport conformément au "calendrier de développement" qui fournit des informations sur la manière dont les infrastructures se développent au fil du temps - en termes de disponibilité et/ou d'attributs de liaison (vitesse et capacité). Certains éléments du réseau sont également évalués en termes de capacité et de congestion. La capacité portuaire et le débit sont également mis à jour à chaque itération, à l'aide d'informations sur les extensions prévues de la capacité portuaire, telles qu'elles sont rapportées dans les ports individuels ou sous la forme de taux de croissance régionaux moyens. Les données spécifiques aux ports ont été obtenues à partir d'études maritimes¹¹.

¹¹ Drewry (2013), Global Container Terminal Operators Annual Review and Forecast 2013, Global Container Terminal Operators Annual Review and Forecast 2013,

OCS (2012a), East Asian Containerport Markets to 2025, Ocean Shipping Consultants.

À chaque itération, l'activité de transport de marchandises par mode est affectée au chemin le plus court/le moins coûteux (sur la base de la minimisation du coût généralisé). Dans le cas des expéditions maritimes, un modèle de choix d'itinéraire prend également en compte les alternatives disponibles pour la sélection du port et les options de transbordement pour chaque paire de OD. L'introduction de cette procédure dans l'affectation de l'équilibre global réduit le nombre d'itérations nécessaires pour converger. Pour créer les alternatives de routage entre chaque paire de centroïdes, l'algorithme du chemin le plus court est calculé entre les ports pour générer le(s) segment(s) de port à port (considérer à la fois le routage direct et le routage indirect via un port de transbordement). Les ports de transbordement sont limités aux grands ports (plus d'un million d'EVP de capacité de trafic de conteneurs, en supposant une augmentation de cette valeur seuil de 3 % par an) avec plus de 25 % de capacité disponible dans l'itération précédente.

Les algorithmes de choix d'itinéraire et de port utilisent un modèle logit de taille de chemin, qui tient compte des chevauchements entre les itinéraires alternatifs et des coûts de transport associés à chaque alternative. La base de ce modèle se trouve dans (Bottom et al., 1999). Le modèle est calibré en minimisant la différence entre les débits portuaires observés et modélisés pour plus de 400 grands ports dans le monde. Une description détaillée du modèle peut être trouvée dans (Halim et al., 2016) et dans (Tavasszy et al., 2011). La définition formelle du modèle de coût est la suivante

$$C_r = \sum_{p \in r} A_p + \sum_{l \in r} c_l + \alpha \left(\sum_{p \in r} T_p + \sum_{l \in r} t_l \right) \quad (8)$$

où

C_r = coût unitaire de la route r entre le centroïde d'origine et le centroïde de destination (USD/unité de vingt équivalents, EVP),

p = ports utilisés par la route,

l = liens utilisés par la route,

A_p = coût unitaire du transbordement au port p (USD/TEU),

c_l = coût unitaire du transport sur la liaison l (USD/TEU),

T_p = temps consacré au transbordement dans le port p (jours/UTP),

t_l = temps passé pendant le transport sur la liaison l (jours/UTP),

α = valeur du temps de transport (USD/jour).

Voici la définition formelle du modèle de choix d'itinéraire. Les probabilités d'itinéraire sont données par

$$P_r = \frac{e^{-\mu (C_r + \ln S_r)}}{\sum_{h=1}^H e^{-\mu (C_h + \ln S_h)}} \quad (9)$$

OCS (2012b), Middle East Containerport Markets to 2025, (Ocea, Ed.), Ocean Shipping Consultants.

OCS (2012c), North European Containerport Markets to 2025, Ocean Shipping Consultants.

tandis que la variable de chevauchement de la taille du chemin S est définie comme suit

$$S_r = \sum_{a \in LK_r} \frac{Z_a}{Z_r} \frac{1}{N_{ah}} \quad (10)$$

Dans les équations (8) et (9) :

P_r = la probabilité de choix de la route r ,

C_r = coûts généralisés de l'itinéraire r ,

C_h = coûts généralisés de l'itinéraire h dans l'ensemble de choix,

CS = l'ensemble de choix avec des itinéraires multiples,

h = indicateur de chemin/index,

μ = paramètre d'échelle logit,

a = lien dans l'itinéraire r ,

S_r = degré de chevauchement des chemins,

LK_r = ensemble des liens de la route r ,

Z_a = longueur du lien a ,

Z_r = longueur de l'itinéraire r ,

N_{ah} = le nombre de fois où la liaison a est trouvée dans les itinéraires alternatifs.

À chaque itération, l'affectation d'équilibre produit une affectation tout ou rien (sous réserve de la mise à jour des temps de parcours et des coûts à chaque itération d'affectation) de toutes les alternatives de transport simultanément. Le modèle fonctionne jusqu'à ce qu'il y ait convergence des coûts de transport de toutes les alternatives pour la même paire de OD. Le modèle converge généralement après 5 à 10 itérations.

Calcul des résultats

Le modèle fournit des tonnes-kilomètres (tkm) et des véhicules-kilomètres (vkm) pour chaque lien et centroïde du réseau de fret, ventilés par mode de transport et type de marchandise. Cela permet de calculer les valeurs correspondantes pour différentes paires origine-destination et différents itinéraires. Ces résultats peuvent être agrégés aux niveaux national et régional.

Les émissions de CO₂ sont estimées pour chaque marchandise en fonction de l'activité de transport en tkm ou en vkm, selon le mode de transport. Pour le transport routier, les émissions de CO₂ sont estimées en vkm, en utilisant les facteurs de charge spécifiques des camions pour les différents types de marchandises. Les facteurs de charge de base, spécifiques à chaque type de marchandise, ont été obtenus à partir de

l'enquête américaine sur les flux de marchandises (Commodity Flow Survey 2017)¹² et d'Eurostat (l'enquête européenne sur le transport routier de marchandises (ERFT)).

Les facteurs de charge évoluent au fil du temps en fonction des améliorations opérationnelles apportées au transport de marchandises. Ces améliorations permettront de réduire le nombre de kilomètres à vide et de mieux utiliser les volumes des véhicules (par exemple, en améliorant l'emballage). Pour les autres modes, les estimations de CO₂ sont calculées par tkm. Les intensités respectives de CO₂ par tkm ont été obtenues à partir de :

- Modèle de flotte ITF (route, rail et voies navigables)
- OMI (fret maritime) (Smith et al., 2014),
- OACI (fret aérien) (OACI, 2018).

Représentation du Maroc dans le modèle mondial

Cette section décrit la caractérisation et les données d'entrée pour le Maroc représenté dans le modèle global de fret non urbain de l'ITF.

Le modèle représente les activités de transport de fret au Maroc, y compris les flux de fret domestiques, de transit et internationaux. La zone d'étude de ce modèle comprend l'ensemble du pays, divisé en 12 régions suivant les limites administratives du Maroc.

Réseaux de transport du Maroc

Le modèle couvre les chemins de fer et les routes principales du pays ainsi que les routes maritimes et aériennes locales et internationales reliant le Maroc au reste du monde. Le réseau routier du modèle couvre 9425 km. La longueur du réseau ferroviaire couvert par le modèle est de 5221 km.

Le temps moyen de passage des frontières internationales est mesuré pour chaque paire de pays commerçants dans notre modèle. Les temps de passage des frontières pour l'année de référence 2015 sont obtenus auprès de la direction TAD de l'OCDE. Afin d'effectuer des estimations pour les paires de pays ne disposant pas de telles données, un modèle de régression est développé, qui explique le temps moyen de passage des frontières par l'indice de facilitation des échanges (également obtenu auprès de la DAT/OCDE) et l'existence d'un accord commercial entre une paire de pays.

¹² <https://www.census.gov/programs-surveys/cfs.html>

Mesures et hypothèses par scénario

Cette section détaille les hypothèses derrière des scénarios de décarbonation pour le transport de marchandises au Maroc. A cette fin, il définit les différentes mesures appliquées à l'aide du cadre de modélisation et indique, pour chaque mesure, les hypothèses utilisées pour chaque scénario de politiques. Les définitions des mesures résument des descriptions, plus détaillées, faites par le FIT dans le cadre de son [Directoire des Actions sur le Transport pour le Climat](#) (TCAD).

Trois scénarios principaux sont utilisés :

- un scénario, "fil de l'eau", qui n'inclut pas des évolutions de politiques entre 2022 et 2050 ;
- un scénario "ambitions limitées", qui inclut certaines des mesures prévues par le gouvernement marocain pour la décarbonation des transports, et
- un scénario 'ambitions élevées', qui augmente l'ambition de ces mesures et en rajoute d'autres afin d'aligner le développement des politiques marocaines avec un sentier qui permette d'atteindre les objectifs de l'Accord de Paris pour le secteur transport dans le pays

Les hypothèses pour chaque mesure politique proviennent de diverses références, y compris le rapport de Perspectives des transports 2023 du FIT, les documents de politique et de planification pertinents, et les idées des experts présents à un atelier, organisé en Septembre 2023, de main avec des autorités marocaines.

Les scénarios englobent trois groupes de mesures politiques :

- **Mesures liées à l'offre de transport** : Ces mesures visent à améliorer l'infrastructure et la capacité des réseaux de transport afin d'améliorer l'offre de logistique de fret. Leur objectif est de créer un système plus efficace pour le transport de marchandises et de fret.
- **Mesures liées à la demande de transport** : Ces mesures concernent la demande de logistique de fret. Elles sont conçues pour modifier le comportement des consommateurs, ainsi que les modèles économiques des entreprises et les dynamiques de la chaîne d'approvisionnement, soit pour réduire la demande globale de services de transport, soit pour utiliser les ressources existantes de manière plus efficace.
- **Mesures relatives aux carburants et à la technologie** : Cette catégorie comprend les initiatives axées sur les avancées technologiques, les carburants alternatifs et les pratiques opérationnelles visant à promouvoir des méthodes de transport durables et respectueuses de l'environnement. L'objectif est de réduire les émissions de carbone, d'augmenter le rendement énergétique et de promouvoir l'adoption de technologies plus écologiques dans le secteur des transports.

Définitions des mesures et description des scénarios : mesures d'offre des transports

Le tableau suivant présente des descriptions détaillées de chaque mesure d'offre de transports. Il explique également brièvement comment les hypothèses de chaque mesure influencent les différentes variables d'entrée et les indicateurs de sortie du modèle de transport de marchandises non urbain de fret l'ITF. Le deuxième tableau montre comment ces mesures varient selon chaque scénario.

Définition des mesures :

Mesures	Descriptions	Impacts
Expansion et amélioration du transport routier de marchandises	Construire de nouvelles routes, améliorer l'infrastructure routière et augmenter la capacité de transport de marchandises.	Augmentation de la capacité routière et amélioration des conditions, pouvant influencer la demande et le choix du mode de transport. [vitesse et temps de déplacement, capacité routière → choix du mode et de l'itinéraire].
Expansion et modernisation du fret ferroviaire	Construire de nouvelles voies ferrées, améliorer les réseaux ferroviaires afin d'accueillir et de rationaliser le transport de marchandises.	L'amélioration de l'infrastructure ferroviaire peut promouvoir un changement modal du fret entre du mode routier au rail. [vitesse et durée des trajets, capacité ferroviaire → choix des modes et des itinéraires].
Amélioration de la capacité et de l'efficacité des ports	Développer et optimiser les ports pour traiter efficacement des volumes de marchandises plus importants.	Manipulation plus rapide des marchandises, influençant l'acheminement du fret et la demande de transport maritime. [capacité d'accostage, temps de manutention portuaire → modèle de demande et acheminement].
Amélioration de la capacité et de l'efficacité des aéroports	Moderniser les aéroports pour faciliter des opérations de fret aérien plus fluides et plus efficaces.	Augmentation de la demande de fret aérien, impact potentiel sur le choix modal. [capacité de fret aérien, temps de traitement à l'aéroport → modèle de demande et choix du mode de transport].
Développement des ports secs	Mise en place de terminaux intérieurs reliés aux ports maritimes, facilitant la manutention et la distribution des marchandises.	Amélioration de la logistique intérieure, susceptible d'influencer les schémas de distribution du fret. [itinéraires de fret, temps et coûts de déplacement, part de marché].

Application dans les différents scénarios

Mesures	Fil de l'eau	Ambition limitée	Ambition élevée
Expansion et amélioration du transport routier de marchandises	Le réseau routier reste statique avec les mêmes valeurs qu'en 2020 (46015 km)	Le scénario intègre 1600 km de nouvelles routes à l'horizon 2040, dont 1200 km d'autoroutes et 400 km de voies rapides, en accord avec le SNR 2040.	Même niveau que sous "ambition limitée »
Expansion et modernisation du fret ferroviaire	Le réseau ferroviaire reste statique avec les mêmes valeurs qu'en 2020 (3848 km)	Le scénario intègre 2700 km de nouveaux tronçons ferroviaires, dont 1600 km de rail conventionnel et 1100 km de rail à grande vitesse, en accord avec le Plan Rail Maroc 2040.	Même niveau que sous "ambition limitée »
Amélioration de la capacité et de l'efficacité des ports	La capacité et l'efficacité des ports reste statique avec les mêmes valeurs qu'en 2020 (1.184 millions d'EVP pour Casablanca, 0.08 pour Nador WM, 0.61 pour Tanger Med, 0.224 pour Agadir et 0.016 pour d'autres ports)	Le débit des ports augmente à l'horizon 2050 de la façon suivante : augmentation de 0.69 millions d'EVP à Casablanca, de 0.86 à Nador WM, de 0.61 à Tanger Med, de 0.17 à Agadir	Même niveau que sous "ambition limitée »
Amélioration de la capacité et de l'efficacité des aéroports	La capacité des ports reste statique avec les mêmes valeurs qu'en 2020 (96 121 tonnes)	Pas d'améliorations prévues	Même niveau que sous "ambition limitée »
Développement des ports secs	La capacité des ports reste statique avec les mêmes valeurs qu'en 2020 (150000 EVP/an à Casablanca, 50000 à Marrakech et 50000 à Fès).	Pas d'améliorations prévues	Même niveau que sous "ambition limitée »

Définitions des mesures et description des scénarios : mesures de demande des transports

Le tableau suivant présente des descriptions détaillées de chaque mesure de demande de transports. Il explique également brièvement comment les hypothèses de chaque mesure influencent les différentes variables d'entrée et les indicateurs de sortie du modèle de transport de marchandises non urbain de fret l'ITF. Le deuxième tableau montre comment ces mesures varient selon chaque scénario.

Définition des mesures

Mesures	Hypothèses	Impacts
Tarification en fonction de la distance	Mettre en œuvre des systèmes de tarification basés sur la distance parcourue, afin d'encourager une planification logistique plus efficace. Cette mesure permet aussi de compenser les manques à gagner des taxes appliquées sur les carburant fossiles pour continuer à entretenir les routes.	L'évolution des coûts de transport en fonction de la distance peut influencer la demande de fret et les itinéraires. [coût unitaire du transport de marchandises → demande de fret, choix des itinéraires et des modes de transport].
Établir des frais de port facilitant la durabilité et le changement technologique	Introduire des droits ou des tarifs sur les ports, liés aux services portuaires, afin de gérer la demande et d'encourager l'efficacité et la durabilité. Cette mesure peut aussi établir des tarifs différenciés sur la base de la performance environnementale des navires, incluant des remises pour les navires plus efficaces	Modifie les coûts d'expédition, peut avoir un impact sur la demande de fret et les choix d'expédition. [taxes et tarifs portuaires → demande, choix des ports et des itinéraires, utilisation de navires efficaces].
Tarification du carbone	Imposer des redevances sur les émissions de gaz à effet de serre pour encourager la réduction des émissions dans le secteur des transports.	Tarififier les émissions de carbone peuvent encourager les options de transport à faible émission. [coût unitaire du transport de marchandises → choix du mode de transport].

Régionalisation du commerce / Approvisionnement local en marchandises	Encourager la production et la consommation de biens à l'intérieur de régions spécifiques afin de réduire les distances de transport.	Réduit le transport longue distance, influence les flux de fret régionaux. [distance entre les origines et les destinations des marchandises → tonnes-kilomètres parcourues].
Augmentation du commerce électronique	Promouvoir une plus grande évolution vers le commerce électronique, modifiant ainsi le paysage de la demande de fret et des modes de livraison.	Changements dans les schémas de distribution du fret et dans le comportement des consommateurs, réduisant les besoins en fret sur de longues distances et augmentant les livraisons locales. [demande de fret]

Application dans les différents scénarios

Mesures	Fil de l'eau	Ambition limitée	Ambition élevée
Tarifcation en fonction de la distance	N/A	Augmentation en pourcentage du coût de base par tonne-kilomètre de 1% en 2050; en accord avec les hypothèses des <i>Perspectives des Transports 2023 du FIT</i> pour la région MENA	Augmentation en pourcentage du coût de base par tonne-kilomètre de 2% en 2030 ; 6% en 2050; en accord avec les hypothèses des <i>Perspectives des Transports 2023 du FIT</i> pour la région MENA
Établir des frais de port facilitant la durabilité et le changement technologique	N/A	En 2050, les émissions de CO2/tkm sont réduites de 1% par rapport à l'amélioration technologique normale. Ceci est en accord avec les hypothèses des <i>Perspectives des Transports 2023 du FIT</i> pour la région MENA	En 2030, les émissions de CO2/tkm sont réduites de 11% par rapport à l'amélioration technologique normale ; 30% en 2050. Ceci est en accord avec les hypothèses des <i>Perspectives des Transports 2023 du FIT</i> pour la région MENA
Tarifcation du carbone	N/A	En 2030, le prix par tonne d'émissions de CO2 est de 64 USD ; 150 USD en 2050 ; en accord avec les	En 2030, le prix par tonne d'émissions de CO2 est de 129 USD ; 300 USD en 2050 ; en accord

		hypothèses des <i>Perspectives des Transports 2023 du FIT</i> pour la région MENA	avec les hypothèses des <i>Perspectives des Transports 2023 du FIT</i> pour la région MENA
Régionalisation du commerce / Approvisionnement local en marchandises	N/A	N/A	Les distances moyennes de transport sont réduites d'autour de 10% en 2050, en accord avec les hypothèses des <i>Perspectives des Transports 2023 du FIT</i> pour la région MENA
Augmentation du commerce électronique	Le commerce électronique augmente de 3% de plus en 2030 par rapport à 2015, de 4% en 2050. Ceci est en accord avec les hypothèses des <i>Perspectives des Transports 2023 du FIT</i> pour la région MENA	Le commerce électronique augmente de 3% de plus en 2030 par rapport à 2015, de 4% en 2050. Ceci est en accord avec les hypothèses des <i>Perspectives des Transports 2023 du FIT</i> pour la région MENA	Le commerce électronique augmente de 3% de plus en 2030 par rapport à 2015, de 4% en 2050. Ceci est en accord avec les hypothèses des <i>Perspectives des Transports 2023 du FIT</i> pour la région MENA

Définitions des mesures et description des scénarios : Mesures concernant les carburants et les technologies

Le tableau suivant présente des descriptions détaillées de chaque mesure concernant les carburants et les technologies de transports. Il explique également brièvement comment les hypothèses de chaque mesure influencent les différentes variables d'entrée et les indicateurs de sortie du modèle de transport de marchandises non urbain de fret l'ITF. Le deuxième tableau montre comment ces mesures varient selon chaque scénario.

Définition des mesures

Mesures	Hypothèses	Impacts
Adoption de camions électriques/à carburant alternatif	Introduire des camions écologiques fonctionnant à l'électricité ou aux carburants alternatifs afin de réduire les émissions.	Réduit les émissions, peut avoir un impact sur la demande de fret et les coûts de camionnage. [composition du parc → consommation moyenne de carburant par tonne-kilomètre].
Normes d'efficacité énergétique pour les camions	Mise en œuvre de règlements visant à améliorer le rendement énergétique des véhicules commerciaux.	Améliore la consommation de carburant, influe sur la demande de fret et les coûts. [consommation moyenne de carburant par tonne-kilomètre].
Réglementation et incitations pour les véhicules lourds (HCV)	Gérer l'utilisation des poids lourds et mettre en place des mesures d'incitation pour un transport de marchandises efficace.	Impact sur l'utilisation des poids lourds, peut influencer la demande de fret et les coûts logistiques. [Facteur de charge moyen de la flotte de camions → vkm]
Le partage des ressources logistiques pour améliorer le taux de remplissage des véhicules	Utiliser des ressources partagées et une approche en réseau pour rationaliser les opérations logistiques et améliorer l'efficacité opérationnelle.	Améliore l'efficacité logistique, peut influencer la distribution du fret. [optimisation des itinéraires, réduction des trajets à vide → temps de trajet, distance, facteur de charge].

Réduction de la vitesse des camions	Mettre en place des limitations de vitesse pour les camions afin d'économiser du carburant.	Réduction de la consommation de carburant, impact potentiel sur la demande de fret et les coûts. [Consommation moyenne de carburant par tonne-kilomètre]
L'éco-conduite	Promouvoir des pratiques de conduite économes en carburant auprès des chauffeurs de camion afin de réduire la consommation d'énergie.	Encourage la conduite économe en carburant, peut influencer la demande de transport de marchandises et les émissions. [Consommation moyenne de carburant par tonne-kilomètre]
Adoption de carburants alternatifs dans les navires	Utiliser des carburants alternatifs pour propulser les navires et réduire leur impact sur l'environnement.	Réduit les émissions des navires, peut avoir un impact sur les choix en matière de transport maritime. [mélange de carburants de la flotte → consommation moyenne de carburant par tonne-kilomètre].
Réduction des vitesses /Adaptation intelligente des vitesses pour les navires	Optimiser la vitesse des navires et les itinéraires pour économiser le carburant et réduire les émissions.	Économie de carburant, influence potentielle sur la demande de transport maritime et les émissions. [consommation moyenne de carburant par tonne-kilomètre].
Objectifs en matière de carburant aviation durable (SAF)	Fixer des objectifs pour accroître l'utilisation de carburants durables dans l'industrie aéronautique, en réduisant les émissions de carbone dues au transport aérien.	Promouvoir une aviation plus écologique, peut influencer la demande de fret aérien et les émissions. [Consommation moyenne de carburant par tonne-kilomètre]

Application dans les différents scénarios

Mesures	Fil de l'eau	Ambition limitée	Ambition élevée
Adoption de camions électriques/à carburant alternatif	N/A	La part de camions à zéro émissions augmente à 11% en 2050; en accord avec les hypothèses des <i>Perspectives des Transports 2023 du FIT</i> pour la région MENA	La part de camions à zéro émissions augmente à 44% en 2050; en accord avec les hypothèses des <i>Perspectives des Transports 2023 du FIT</i> pour la région MENA
Normes d'efficacité énergétique pour les camions	N/A	Les améliorations d'efficacité énergétique des camions, exprimés en CO2/tkm, augmentent de 1% de plus que la tendance normale	Les améliorations d'efficacité énergétique des camions, exprimés en CO2/tkm, augmentent de 1.9% de plus que la tendance normale
Réglementation et incitations pour les véhicules lourds (VHC)	N/A	1% du fret routier est effectué avec des VHC en 2030, 2% en 2050; en accord avec les hypothèses des <i>Perspectives des Transports 2023 du FIT</i> pour la région MENA	2% du fret routier est effectué avec des VHC en 2030, 4% en 2050; en accord avec les hypothèses des <i>Perspectives des Transports 2023 du FIT</i> pour la région MENA
Le partage des ressources logistiques pour améliorer le taux de remplissage des véhicules	N/A	Le coefficient de charge du fret routier augmente de 1% en 2030, de 2% en 2050; en accord avec les hypothèses des <i>Perspectives des Transports 2023 du FIT</i> pour la région MENA	Le coefficient de charge du fret routier augmente de 14% en 2030, de 20% en 2050; en accord avec les hypothèses des <i>Perspectives des Transports 2023 du FIT</i> pour la région MENA
Réduction de la vitesse des camions	N/A	La vitesse moyenne des transports routiers diminue de 4% en 2030, de 10% en 2050; en accord avec les hypothèses des <i>Perspectives des Transports 2023 du FIT</i> pour la région MENA	La vitesse moyenne des transports routiers diminue de 12% en 2030, de 33% en 2050; en accord avec les hypothèses des <i>Perspectives des Transports 2023 du FIT</i> pour la région MENA

L'éco-conduite	N/A	Réduit en moyenne de 10% la consommation de carburant pour tout ralentissement de 10 km/h; en accord avec les hypothèses des <i>Perspectives des Transports 2023 du FIT</i> pour la région MENA	Réduit en moyenne de 20% la consommation de carburant pour tout ralentissement de 10 km/h; en accord avec les hypothèses des <i>Perspectives des Transports 2023 du FIT</i> pour la région MENA
Adoption de carburants alternatifs dans les navires	N/A	N/A	La part des navires à carburants à faible teneur en carbone augmente à 5.2% en 2030, et à 61% en 2050; en accord avec les hypothèses des <i>Perspectives des Transports 2023 du FIT</i> pour la région MENA
Réduction des vitesses /Adaptation intelligente des vitesses pour les navires	N/A	La vitesse moyenne des transports routiers diminue de 4% en 2030, de 10% en 2050; en accord avec les hypothèses des <i>Perspectives des Transports 2023 du FIT</i> pour la région MENA	La vitesse moyenne des transports routiers diminue de 12% en 2030, de 33% en 2050; en accord avec les hypothèses des <i>Perspectives des Transports 2023 du FIT</i> pour la région MENA
Objectifs en matière de carburant aviation durable (SAF)	N/A	N/A	La part des carburants aéronautiques durables est de 5.2% en 2050; en accord avec les hypothèses des <i>Perspectives des Transports 2023 du FIT</i> pour la région MENA