

Configuration spatiale, structure de connectivité et stratégies de planification du réseau logistique de l'aire métropolitaine de Wuhan : une étude fondée sur les données de navigation des camions

SHAN Zhuoran, ZHU Junqing, YUAN Man, HUANG Yaping, FU Lingfeng

Résumé : À partir des données massives de navigation des camions de Gaode (AutoNavi), cette étude examine les caractéristiques spatiales et les méthodologies de planification du réseau logistique de l'aire métropolitaine de Wuhan. Les résultats révèlent que la configuration spatiale globale des activités logistiques est dominée par les pôles, avec une concentration géographique déterminée par la distribution des ressources. Plus précisément, les activités des poids lourds présentent un modèle de concentration dans les zones centrales et de dispersion vers les parcs industriels périphériques et les zones portuaires. En revanche, les activités des camions moyens, petits et micro affichent une distribution hiérarchisée — ancrée dans les centres urbains, regroupée de manière agglomérée dans les zones bâties des villes centrales, et dispersée de façon fragmentée dans les régions périphériques. Grâce à l'analyse par regroupement, 122 unités spatiales logistiques fonctionnellement différenciées ont été identifiées, dont certaines présentent un décalage avec les politiques de planification actuelles. L'analyse de réseau met en évidence un « effet Matthieu » dans la connectivité logistique, identifie des corridors de transport régionaux potentiels dans plusieurs directions et révèle des écarts significatifs dans l'intensité des liaisons internes et les flux intercommunautaires parmi les communautés secondaires associées. Pour remédier aux déséquilibres spatiaux de l'allocation des ressources, aux retards de connectivité et à l'insuffisance de la coordination inter-communautaire au sein du réseau logistique de fret, cet article propose un cadre de planification stratégique articulé autour du renforcement des pôles, du développement de corridors et de la réorganisation communautaire. Ce cadre esquisse une structure spatiale logistique comprenant cinq types d'installations, sept corridors et cinq communautés, tout en proposant trois axes d'optimisation et des mesures opérationnelles. L'étude fournit un socle théorique pour le développement logistique moderne et la planification de l'aménagement spatial dans les aires métropolitaines chinoises.

Mots-clés : données de navigation des camions ; réseau logistique ; configuration spatiale logistique ; stratégie de planification ; aire métropolitaine

L'aménagement coordonné et la planification intégrée des espaces logistiques modernes revêtent une importance considérable pour améliorer l'efficacité économique régionale, optimiser les structures de transport, renforcer les liaisons industrielles interurbaines et stabiliser les chaînes d'approvisionnement dans les aires métropolitaines [1-3]. En novembre 2024, le Bureau général du Comité central du PCC et le Bureau général du Conseil des Affaires d'État ont publié le Plan d'action pour la réduction effective des coûts logistiques dans l'ensemble de la société, proposant notamment de perfectionner le système de services logistiques « rayon-moyeu », de cultiver les économies de pôles et les économies de corridors, et de bâtir un système d'exploitation logistique moderne intégrant « corridors + pôles + réseaux ». L'aire métropolitaine de Wuhan, zone économique centrale du cours

moyen du fleuve Yangtsé et hub national majeur de transport multimodal, a vu ces dernières années l'ampleur de son activité logistique et le nombre d'entreprises logistiques croître de manière significative. Ses activités logistiques jouent un rôle de plus en plus important comme moteur de la croissance économique régionale, donnant naissance à des configurations spatiales d'origine politique. Le plan de développement de l'industrie logistique moderne de Wuhan pour le 14^e plan quinquennal (2022) proposait d'établir des axes de synergie logistique le long des corridors de développement urbain Wu-E-Huang-Huang, Han-Xiao, Wu-Xian et Wu-Xian-Tian-Qian (Wu-Xian), et d'approfondir les liens régionaux et le développement en cascade des nœuds logistiques le long de ces axes. Toutefois, la mise en œuvre des plans et des projets de construction a révélé des lacunes telles que la mauvaise connectivité entre les nœuds de pôles logistiques, l'incomplétude des réseaux de transport interurbains, l'insuffisance des infrastructures logistiques et la déséquilibre dans la planification des ressources logistiques — reflétant une immaturité dans la compréhension des schémas de développement de l'espace logistique à l'échelle métropolitaine.

L'allocation régionale des ressources et l'implantation des facteurs productifs en fonction des caractéristiques des activités logistiques sont devenues un sujet de forte attention dans la recherche en planification. En matière de données, les études antérieures reposaient principalement sur des enquêtes Origine-Destination (OD) et des collectes de questionnaires (préférence révélée, RP), ainsi que sur des recensements démographiques et des enquêtes de déplacement pour identifier les nœuds de fret majeurs [4-6]. Les recherches ultérieures se sont largement appuyées sur les données GPS des camions [7], les données de péage [8], les données de flux de trafic [9] et les données d'enquêtes de terrain issues de visites de boutiques Taobao [10], rendant possible la cartographie de la structure topologique et la distribution des flux de trafic des réseaux logistiques régionaux à grande échelle [11-12]. Sur le plan méthodologique, la plupart des études ont utilisé les provinces, les villes ou les districts/comtés comme unités statistiques, avec des recherches empiriques portant principalement sur le niveau national [13-14], l'échelle provinciale [8] et les agglomérations urbaines [15]. Les méthodes d'analyse des réseaux sociaux ont été largement employées, en se concentrant sur des indicateurs clés tels que la densité du réseau, l'intensité des connexions et le coefficient de variation [16-17]. Quant au contenu, la cartographie de la structure spatiale des réseaux logistiques régionaux demeure le travail central ; certaines études ont également exploré l'application de la théorie rayon-moyeu dans la réduction des coûts globaux et l'accélération de la coordination des nœuds logistiques régionaux [18-19]. D'autres ont examiné les réseaux logistiques transfrontaliers dans les zones transitionnelles interurbaines, étudiant l'« atténuation de la distance – effet de frontière » dans l'évolution des réseaux [18]. Dans l'ensemble, les recherches existantes ont accumulé une expérience précieuse en techniques d'analyse quantitative ; cependant, les analyses statistiques fondées sur l'échelle des districts administratifs ne peuvent saisir avec précision le volume important d'activités logistiques se déroulant au sein des parcs industriels et des parcs logistiques, pas plus qu'elles ne reflètent les schémas de déplacement réels des camions dans l'espace physique. Il est donc nécessaire d'introduire des unités de grille de plus haute précision pour améliorer la fiabilité des résultats analytiques et la validité des conclusions [20-21].

C'est dans ce contexte que cette étude utilise des cellules de grille de 2 km × 2 km pour mesurer les schémas de distribution spatiale des activités logistiques des différents types de

camions dans l'aire métropolitaine de Wuhan, intègre des techniques de regroupement spatial pour identifier les unités spatiales logistiques régionales, et mobilise l'analyse des réseaux sociaux pour caractériser la structure de connectivité et les relations communautaires du réseau logistique, afin d'orienter l'optimisation de la structure spatiale logistique régionale de l'aire métropolitaine de Wuhan.

1 Données et méthodes de recherche

1.1 Champ de recherche

Le Plan de développement de l'aire métropolitaine de Wuhan a été officiellement approuvé par la Commission nationale du développement et des réformes en 2022. Ses frontières n'ayant pas été officiellement publiées, les neuf villes couvertes par le Plan d'action triennal de l'aire métropolitaine de Wuhan (2023-2025) ont été retenues comme champ de recherche : Wuhan, Ezhou, Huangshi, Huanggang, Xiaogan, Xianning, Xiantao, Tianmen et Qianjiang. Le schéma de développement déséquilibré « centre fort – arrière-pays faible » de l'aire métropolitaine de Wuhan, ainsi que les écarts significatifs de densité économique et de niveau d'infrastructure entre les villes membres, offrent un laboratoire idéal pour mesurer les effets « d'aspiration – de débordement » du réseau logistique régional.

1.2 Avantages des données

Les données de navigation des camions utilisées dans cette étude sont fournies par AutoNavi (Gaode) Software Co., Ltd. et présentent trois avantages majeurs :

① Une restitution plus fidèle et précise des origines et destinations réelles des déplacements. Contrairement aux données GPS des camions, sujettes aux stationnements techniques, aux interruptions de signal et aux lacunes de couverture sous les ponts ou dans les zones montagneuses isolées (entraînant des ruptures de chaîne OD et de faux points d'arrêt), les données de navigation des camions sont générées par les demandes de navigation actives des utilisateurs et ne sont pas affectées par ces interférences. De plus, les utilisateurs de la navigation camion de Gaode représentent environ 40 % de l'ensemble des utilisateurs de camions, ce qui garantit la fiabilité des données. La proportion de paires OD de déplacements de camions avec des origines et destinations relativement stables au cours d'une même journée dans l'aire métropolitaine de Wuhan atteint 75 %, ce qui favorise une capture complète et continue des schémas récurrents à haute fréquence et à cycle court des déplacements de camions.

② Des informations de classification de la taille des camions plus détaillées. Les études conventionnelles utilisent souvent les données de déplacement des camions de plus de 12 tonnes (telles que les données des départements de transport pour la surveillance des poids lourds) comme substitut, ce qui ne peut représenter les activités logistiques des camions moyens, petits et micro. Les données de navigation des camions collectées dans cette étude incluent des paramètres clés tels que le type de camion, la longueur, la largeur et le poids du véhicule, permettant une caractérisation plus complète et équilibrée des conditions opérationnelles des différents types de véhicules de fret.

③ Sous contrainte de coût, les données ont été collectées du 10 au 17 avril 2023. Premièrement, les déplacements ayant leur origine dans l'aire métropolitaine de Wuhan ont été filtrés, produisant plus de 1,44 million d'enregistrements OD initiaux. Deuxièmement, suivant la méthode de Jiao Hongzan et al. [20], les paires OD de déplacements de camions dont les coordonnées d'origine et de destination se trouvent à l'intérieur de l'aire métropolitaine ont été extraites pour refléter scientifiquement la structure du réseau

logistique régional. Troisièmement, les points de coordonnées anormaux ont été nettoyés (suppression des données avec des décalages de coordonnées, des distorsions de vitesse et des informations de champ incomplètes), ainsi que les déplacements anormaux (suppression des déplacements avec une distance du trajet OD < 500 m). Au final, 780 229 enregistrements OD valides de déplacements de camions ont été extraits, dont environ 56 % concernaient des poids lourds et environ 44 % des camions moyens, petits et micro. Chaque enregistrement de déplacement comprend 8 champs : identifiant du véhicule, date du déplacement, coordonnées d'origine, coordonnées de destination, type de camion, distance du trajet OD, etc.

1.3 Méthodes de recherche

(1) Méthode de regroupement K-means

En calculant la similarité des volumes d'activités logistiques 综合 entre les cellules de grille, l'ensemble des grilles est partitionné en K clusters, et les unités spatiales logistiques régionales sont identifiées sur la base des différences inter-clusters en matière de volume d'activité logistique 综合. La statistique pseudo-F est utilisée pour déterminer le nombre optimal de clusters pour les unités spatiales logistiques de l'aire métropolitaine de Wuhan. La formule de calcul est :

$$F = [SSB/(N-K)] / [SSW/(K-1)]$$

où SSW est la somme des carrés intra-cluster, représentant la similarité des données au sein d'un même cluster ; SSB est la somme des carrés inter-clusters, reflétant les différences de données entre clusters ; N est le nombre total d'échantillons ; et K est le nombre de clusters. Une statistique pseudo-F plus élevée indique une mesure plus valide du degré de similarité inter-cluster et de différenciation intra-cluster.

(2) Analyse des réseaux sociaux (SNA)

Des indicateurs tels que la densité du réseau, le coefficient de variation, le coefficient de clustering moyen et l'intensité des connexions sont sélectionnés pour caractériser la structure de connectivité du réseau logistique régional de l'aire métropolitaine de Wuhan. Les « nœuds » du réseau social sont traduits dans cette étude en « unités spatiales logistiques ». Les indicateurs clés et leurs méthodes de mesure sont les suivants.

① L'intensité de connexion (F) reflète le niveau d'interaction entre les unités spatiales logistiques. La formule de calcul est :

$$F = F_{ij} + F_{ji} \quad (1)$$

où F_{ij} représente le volume d'activité logistique 综合 de l'unité spatiale logistique i connectée à l'unité spatiale logistique j ; F_{ji} représente le volume d'activité logistique 综合 de l'unité spatiale logistique j connectée à l'unité spatiale logistique i.

② La densité du réseau (M) reflète le degré de connexion étroite entre les unités spatiales logistiques. Une densité plus élevée indique des connexions plus serrées. La formule de calcul est :

$$M = \frac{\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n F_{ij}}{n(n-1)} \quad (2)$$

où n est le nombre d'unités spatiales logistiques dans le réseau.

③ Le coefficient de variation (CV) mesure le degré relatif de dispersion d'une statistique mathématique parmi les unités spatiales logistiques. Un coefficient de variation plus élevé

indique des différences plus marquées dans le volume de déplacements de camions, le volume de connexions logistiques et l'intensité des connexions logistiques entre les unités. La formule de calcul est :

$$C_v = \frac{\sigma}{\mu} \times 100\% \quad (3)$$

où σ et μ sont respectivement l'écart-type et la moyenne du volume de déplacements de camions, du volume de connexions logistiques et de l'intensité des connexions logistiques parmi les unités spatiales logistiques.

④ Le coefficient de clustering moyen (C) mesure la tendance des unités spatiales logistiques à former des clusters locaux ou des « petits groupes ». La formule de calcul est :

$$C = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \frac{2E_i}{k_i(k_i - 1)} \quad (4)$$

où E_i est le nombre de connexions effectives entre les unités spatiales logistiques connectées à l'unité spatiale logistique i , et k_i est le degré de l'unité spatiale logistique i (c'est-à-dire le nombre d'unités spatiales logistiques auxquelles elle est directement connectée).

(3) Algorithme de détection de communautés de Leiden

Introduisant des conditions de terminaison plus raffinées pour améliorer le problème de sur-segmentation de l'algorithme Louvain traditionnel dans certaines situations, cette méthode permet de révéler des structures communautaires dans les régions avec une qualité supérieure. La « communauté » dans cette méthode est traduite en « communauté logistique associée » telle qu'étudiée dans cet article. Sur la base de la technologie de « détection de communautés » (essentiellement le partitionnement des nœuds d'un réseau en groupes), les communautés logistiques associées dans le réseau logistique régional de l'aire métropolitaine sont identifiées. L'indicateur de mesure est la modularité du réseau (Q) ; une modularité plus élevée indique des connexions plus étroites au sein de la communauté logistique associée [22]. La formule de calcul est :

$$Q = \frac{1}{2p} \sum_c e_c - \gamma \frac{T_c^2}{2p} \quad (5)$$

où p est le nombre total de connexions entre les unités spatiales logistiques sur l'ensemble du réseau, e_c est la somme des intensités de connexion logistique entre les unités spatiales logistiques au sein de la communauté logistique associée c , T_c est le volume total de connexions logistiques de la communauté logistique associée c , et γ est le paramètre de résolution du modèle.

2 Caractéristiques de la configuration spatiale des activités logistiques dans l'aire métropolitaine de Wuhan

2.1 Caractéristiques de la configuration spatiale des activités logistiques

2.1.1 Configuration spatiale des activités des poids lourds

Le nombre total de déplacements de poids lourds dans chaque cellule de grille au cours de la période de collecte de données a été calculé (en unités de véhicules). Les résultats montrent que le nombre de grilles à valeurs non nulles est de 11 809 (58,4 % de toutes les cellules de grille), avec un volume moyen de déplacements de poids lourds de 84 et un coefficient de variation atteignant 3,3, indiquant que les activités des poids lourds présentent une distribution géographique étendue et des différences de niveau d'intensité significatives.

L'analyse spatiale révèle que les activités des poids lourds dans l'aire métropolitaine présentent un schéma de « concentration dans les zones centrales pour les opérations, avec dispersion vers les parcs périphériques et les zones portuaires ». Les rares 78 cellules de grille à haute valeur (définies comme des grilles avec un volume de déplacements de camions > 1 304, soit 0,7 %) sont situées dans 10 régions importantes, avec des effets d'aspiration prédominants. Parmi elles, le Cluster industriel de circulation moderne Cihui-Zoumaling constitue le pôle d'organisation logistique régional pour les poids lourds, assurant des fonctions de collecte, distribution et transbordement de fret à haute intensité (voir ① dans la Fig. 1). Proche du troisième périphérique de Wuhan et rayonnant via les autoroutes express, plusieurs zones d'agglomération contiguës d'activités de poids lourds se sont formées (voir ②③④⑥⑧ dans la Fig. 1). Le Parc industriel d'économie circulaire des pierres de Macheng central, le port de Yangluo, la zone de haute technologie du lac Daye et la zone de développement de Gedian servent également de pôles majeurs pour les activités de poids lourds (voir ⑤⑦⑨⑩ dans la Fig. 1).



Fig. 1 Configuration spatiale des activités des poids lourds dans l'aire métropolitaine de Wuhan

2.1.2 Configuration spatiale des activités des camions moyens, petits et micro

En utilisant une méthode similaire, le volume total de déplacements des camions moyens, petits et micro dans chaque cellule de grille a été calculé. Les résultats montrent que le nombre de grilles à valeurs non nulles est de 12 412 (61,3 % de toutes les cellules de grille), avec un volume moyen de déplacements de 72 et un coefficient de variation atteignant 4,0, indiquant que les camions moyens, petits et micro ont une zone d'activité plus large dans l'aire métropolitaine, des différences régionales plus marquées, mais des volumes moyens de déplacements plus faibles que les poids lourds.

L'analyse spatiale révèle que les activités des camions moyens, petits et micro dans l'aire métropolitaine présentent un schéma de « forte attraction centrale, agglomération

sectorielle métropolitaine, dispersion fragmentée périphérique ». Il y a 68 cellules de grille à haute valeur (définies comme des grilles avec un volume de déplacements de camions > 1 304, soit 0,5 %, moins nombreuses que pour les poids lourds), concentrées principalement dans le Cluster industriel de circulation moderne Cihui-Zoumaling, la Zone logistique commerciale de Hankoubei et la Zone logistique de chaîne du froid de Baishazhou. La zone Cihui-Zoumaling, qui sert de pôle d'organisation logistique pour les poids lourds, s'est également révélée être le centre quantitatif des activités des camions moyens, petits et micro avec un effet polarisant encore plus significatif. L'activité « d'approvisionnement-distribution » à haute fréquence du commerce de petits produits et de la vente en gros à Hankoubei et des entreprises de distribution de produits surgelés/chaîne du froid à Baishazhou génère des demandes de transport multiples et de petits lots pour les camions moyens, petits et micro. En outre, la zone urbaine principale de Wuhan, avec sa population résidentielle concentrée, son marché de consommation dynamique et son réseau routier urbain dense, est presque entièrement couverte par les activités des camions moyens, petits et micro (Fig. 2).

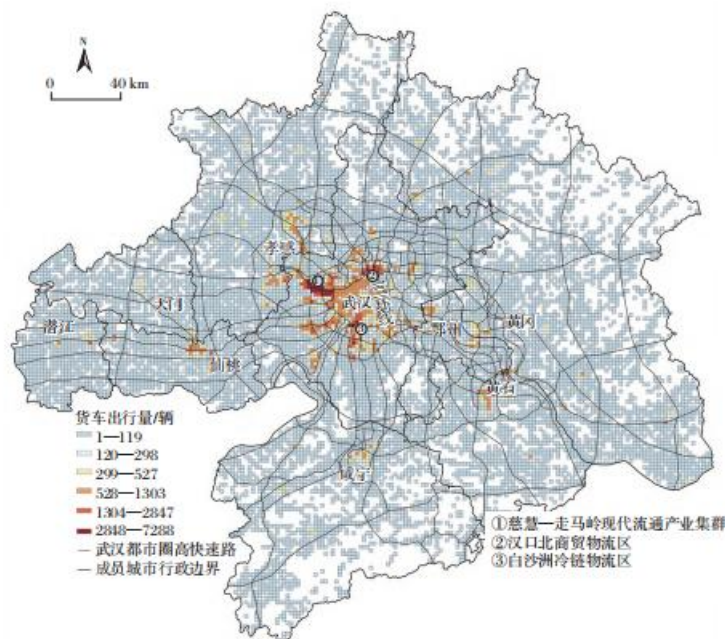


Fig. 2 Configuration spatiale des activités des camions moyens, petits et micro dans l'aire métropolitaine de Wuhan

2.1.3 Configuration spatiale globale des activités logistiques de l'aire métropolitaine

Les activités logistiques quotidiennes dans l'aire métropolitaine sont conjointement assurées par des camions de différentes capacités et caractéristiques opérationnelles. Pour refléter plus précisément l'échelle réelle d'activité et l'intensité des déplacements, cette étude s'appuie sur l'approche de Liu Xinxuan et al. concernant la relation entre les types de camions et les volumes de fret [17-18], intégrant les ensembles de données des poids lourds et des camions moyens, petits et micro, utilisant le poids du véhicule comme facteur de pondération [17-18], et sommant le volume d'activité logistique 综合 pour chaque cellule de grille. Les résultats montrent que le nombre total de grilles à valeurs non nulles est de 13 990 (69,1 %), avec un volume moyen d'activité logistique 综合 de 1 152, une valeur maximale de 119 295 et des valeurs extrêmement élevées (kurtosis = 346). Transposée sur la structure

territoriale, les activités logistiques à l'échelle métropolitaine présentent une configuration spatiale globale de « concentration dominée par les pôles, agglomération du fret tirée par l'exploitation des ressources ». La formation et la croissance des pôles sont mues par des facteurs multiples incluant le transport, l'industrie et la consommation ; les volumes d'activité logistique relativement élevés à Macheng (matériaux de pierre) et Huangshi (minerai de cuivre) reflètent l'attraction spatiale des activités d'extraction, de transformation, d'entreposage et de commercialisation des ressources sur le transport logistique régional.

2.2 Identification des unités spatiales logistiques

En utilisant la méthode de regroupement K-means, la similarité des valeurs de volume d'activité logistique 综合 entre les grilles de l'ensemble de l'aire métropolitaine a été calculée pour identifier automatiquement les régions présentant des caractéristiques de flux cohérentes. Les résultats montrent que lorsque le nombre de clusters est de 6, la statistique pseudo-F est maximisée et la différence inter-clusters en matière de volume d'activité logistique est la plus grande (les moyennes sont respectivement 248, 1 619, 3 542, 17 212, 35 583, 87 565). En conséquence, sur la base d'ArcGIS, les six catégories de cellules de grille ont fait l'objet d'une redistribution et d'un regroupement des taches spatiales, en référence au système de transport et au contenu des pôles logistiques du Plan de développement de l'aire métropolitaine de Wuhan, au système des zones fonctionnelles principales du plan spatial métropolitain, ainsi qu'aux plans directeurs nationaux d'aménagement du territoire et aux études de développement de haute qualité des clusters urbains et industriels provinciaux de chaque ville membre. Au final, 122 unités spatiales logistiques métropolitaines ont été identifiées (Fig. 3), avec une superficie moyenne d'environ 20,3 km² par unité. En observant les positions géographiques des unités spatiales logistiques, quatre fonctions typiques ont été résumées : les fonctions de service de pôle logistique (6), les fonctions de service de parc industriel (86), les fonctions de service de parc logistique (17) et les fonctions de service de transbordement et distribution (11). Par ailleurs, certaines zones de service autoroutières montrent un potentiel de développement en unités spatiales logistiques.

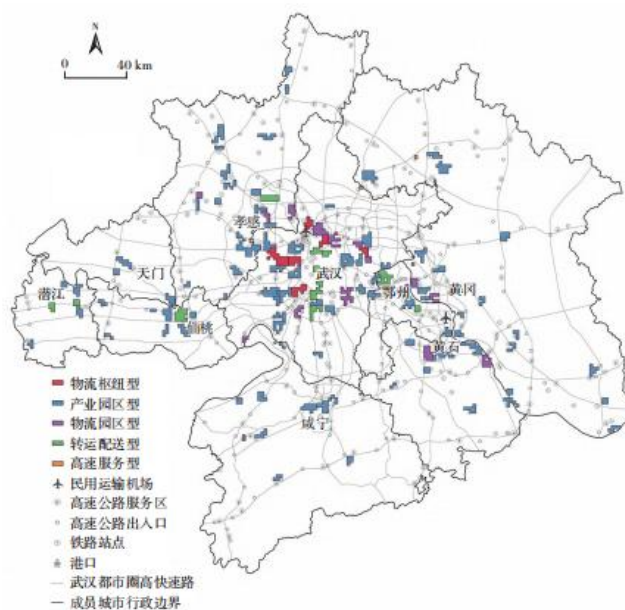


Fig. 3 Répartition spatiale des 122 unités spatiales logistiques de l'aire métropolitaine de

Wuhan

Sur la base de l'atlas d'utilisation actuelle et planifiée des terres de l'aire métropolitaine de Wuhan compilé par l'équipe de recherche, les 122 unités spatiales logistiques ont été superposées et analysées avec les terres industrielles, les terres de logistique et d'entreposage, les terres portuaires et les réseaux autoroutiers pour examiner la compatibilité spatiale. Cinq unités spatiales logistiques se sont révélées hautement compatibles avec les intentions de planification. Les unités spatiales logistiques formées en s'appuyant sur la Zone de haute technologie de Xiantao et la Zone industrielle de fabrication automobile et de pièces détachées de Zhuankou s'alignent sur l'orientation de planification métropolitaine de développer la fabrication intelligente automobile. Le Cluster industriel de circulation moderne Cihui-Zoumaling a jeté les bases pour atteindre l'objectif de construire un pôle logistique national de type terrestre. La Zone logistique commerciale de Hankoubei soutient la position régionale de « construction d'un centre logistique commercial modernisé ». Les unités spatiales logistiques desservant la Zone de fabrication lourde de Yangluo et la Zone de haute technologie du lac Daye ont exercé des fonctions d'agglomération et de rayonnement du fret grâce au port majeur de classe cent-million de tonnes et aux railways de tronc à haut volume. Cependant, quatre unités spatiales logistiques se sont également révélées pas entièrement compatibles avec les plans actuels : par exemple, l'utilisation planifiée des terres dans le Parc industriel urbain de Dijiao et la Zone logistique de chaîne du froid de Baishazhou reste principalement industrielle, résidentielle et de services commerciaux, manquant d'offre spatiale pour les fonctions de distribution logistique et de transbordement à haute fréquence ; un autre exemple est que les plans de la Zone de fabrication d'équipement de Miaoshan et de la Zone de développement économique de la gare ferroviaire de Huangzhou ont une réservation et une organisation insuffisantes des routes de fret au sein de ces unités, manquant particulièrement de routes lourdes et de voies dédiées requises pour le transport à grande échelle.

3 Caractéristiques de la structure de connectivité du réseau logistique régional de l'aire métropolitaine de Wuhan

3.1 Caractéristiques de la structure des nœuds du réseau

Le réseau logistique régional de l'aire métropolitaine de Wuhan présente un « effet Matthieu » prononcé, avec les connexions logistiques à haut volume fortement dominées par un petit nombre de nœuds (c'est-à-dire les unités spatiales logistiques). Les structures de rayonnement multidirectionnel interurbain et d'entrelacement en réseau sont également très distinctes (Fig. 4).

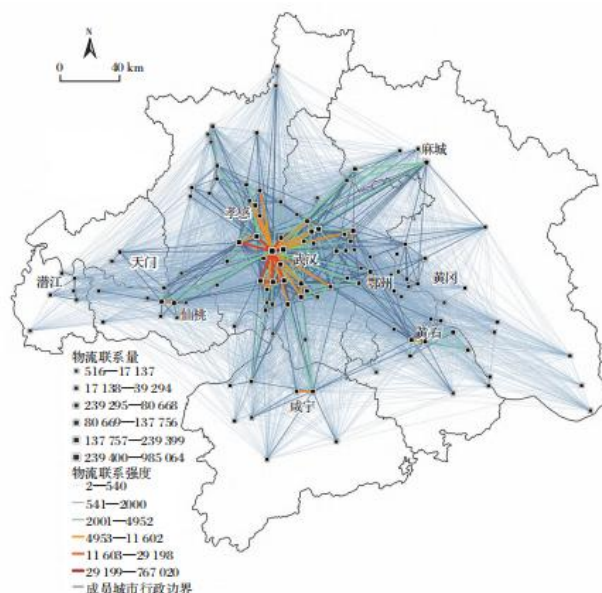


Fig. 4 Structure de l'association logistique dans l'aire métropolitaine de Wuhan fondée sur les unités spatiales logistiques

Les mesures de la densité du réseau et du coefficient de clustering moyen montrent que la compacité de la structure du réseau logistique métropolitain atteint un niveau moyen à élevé (valeur de densité = 0,691, coefficient de clustering = 0,801), indiquant que des centaines d'unités spatiales logistiques tendent à former des interrelations plus étroites.

Cependant, les relations de réseau apparemment serrées ne sont pas spatialement équilibrées. L'analyse statistique du volume de connexions logistiques de chaque unité spatiale logistique montre que : la moyenne du volume de connexions logistiques des 122 unités est de 39 536 avec un coefficient de variation de 2,37 ; les unités spatiales logistiques du top 5 % en termes de volume de connexions sont au nombre de 7, et celles de la tranche 5 %-10 % sont au nombre de 6. Parmi elles, un petit nombre d'unités spatiales logistiques telles que le Cluster industriel de circulation moderne Cihui-Zoumaling, la Zone logistique de chaîne du froid de Baishazhou et la Zone de fabrication lourde de Yangluo constituent les pôles du réseau et jouent des rôles dominants. Le Cluster industriel de circulation moderne Cihui-Zoumaling est le super-pôle logistique dominant l'ensemble du réseau, tandis que les unités périphériques ont une faible influence sur la structure du réseau.

Le calcul des intensités de connexion entre les nœuds révèle que : 4 971 lignes de connexion sont générées entre les 122 unités, avec une intensité moyenne de connexion logistique de 295 mais un coefficient de variation atteignant 5,1, reflétant une structure caractérisée par un fort déséquilibre et des connexions faibles. Parmi les 115 lignes de connexion logistique avec des valeurs d'intensité de connexion supérieures à 2 000, 26 franchissent les limites administratives municipales, convergeant en quatre corridors logistiques associés directionnels de l'aire métropolitaine (direction Wuhan-Xiaogan, direction Wuhan-Macheng, direction Wuhan-Xianning et direction Wuhan-Xiantao).

3.2 Caractéristiques de la structure communautaire du réseau

3.2.1 Répartition spatiale des cinq communautés logistiques associées

L'algorithme de détection de communautés de Leiden a été utilisé pour révéler la structure communautaire du réseau logistique métropolitain. L'algorithme a itéré 10 fois avec une modularité moyenne de 0,426, identifiant au final cinq communautés logistiques associées : Han-Xiao, E-Huang-Huang, Wu-Ma, Xian-Tian-Qian et Wu-Xian (Fig. 5), avec une superficie territoriale moyenne de 11 659 km². Parmi elles, les communautés Han-Xiao, Wu-Ma et Wu-Xian ont franchi les frontières administratives de Wuhan, et à l'intérieur de Wuhan se sont différenciées en trois régions avec des sphères d'influence logistique relativement équilibrées, confirmant indirectement la base scientifique de la proposition du Plan de construire des axes de synergie logistique régionale Han-Xiao et Wu-Xian.



Fig. 5 Répartition spatiale des cinq communautés logistiques associées de l'aire métropolitaine de Wuhan

3.2.2 Connexions entre unités spatiales logistiques au sein des communautés

Bien que le nombre d'unités spatiales logistiques parmi les cinq communautés soit relativement égal, les volumes de connexions logistiques varient de manière significative (Tableau 1). Les données statistiques et l'analyse spatiale montrent que la communauté Han-Xiao présente un schéma de rayonnement unipolaire dans la structure du réseau logistique (le coefficient de variation du volume de connexions logistiques atteignant 1,595). Le Cluster industriel de circulation moderne Cihui-Zoumaling exerce un contrôle extrêmement fort sur cette communauté, formant trois corridors logistiques communautaires rayonnant vers la Zone de développement économique de Hanchuan, le Parc industriel de l'aviation générale et des satellites de Hannan et la Zone de haute technologie nationale de Xiaogan comme nœuds auxiliaires. La communauté Wu-Ma présente la densité de réseau la plus élevée (0,968) et le coefficient de variation le plus bas (0,735), formant une distribution multi-centrée et équilibrée des activités logistiques. Deux corridors logistiques communautaires relient le port de Yangluo et la Zone de développement économique de Hong'an, et le Parc industriel d'économie circulaire des pierres de Macheng central respectivement. Le corridor reliant la Zone de développement économique de Luotian et le Parc industriel adjacent au port de Tuanfeng commence à émerger. La structure d'association logistique interne de la communauté Wu-Xian se caractérise par des traits de longue distance, corridor unique et double extrémité (Parc industriel de santé du sud de Guanggu — Zone de haute technologie de Xianning), ce qui pourrait être lié à la division du travail en chaîne de l'industrie de la santé avec la R&D à Wuhan et la fabrication à Xianning. La communauté E-Huang-Huang présente une faible densité de réseau et un coefficient de variation élevé, avec une forte dépendance à certaines unités spatiales logistiques individuelles telles que la Zone de développement de Huangshi, donnant naissance à un corridor logistique fleuve-vertical et un corridor logistique fluvial avec le nouveau port de Huangshi et la Zone de développement de Gedian comme extrémités. La communauté Xian-Tian-Qian présente une structure logistique associée triangulaire « dirigée par la Zone de haute technologie de Xiantao, complétée par la Zone de haute technologie de Tianmen et la Zone de haute technologie de Qianjiang », avec des caractéristiques d'introversion du réseau prédominantes.

Tab. 1 Comparaison des volumes de connexions logistiques et des indicateurs de structure du réseau des cinq communautés logistiques associées

衡量指标	汉孝社区	武麻社区	鄂黄社区	武威社区	仙天潜社区
单元间物流联系量的平均值	31 731	11 655	6844	8895	4846
单元内物流联系量的极大值	283 810	31 356	30 286	26 547	16 259
单元间物流联系量的极小值	2371	2830	191	1100	956
网络密度	0.934	0.968	0.795	0.926	0.941
网络变异系数	1.595	0.735	0.971	0.877	0.852
网络平均聚类系数	0.946	0.969	0.890	0.938	0.944

3.2.3 Intensité des connexions logistiques intercommunautaires

Le volume de connexions logistiques de fret entre deux communautés quelconques a été calculé, et la proportion du fret logistique intercommunautaire dans le volume total de connexions de fret de la communauté a été tabulée. Les résultats montrent que la proportion de fret intercommunautaire de la communauté Wu-Ma (35,4 %) est significativement supérieure aux autres communautés, démontrant des caractéristiques distinctives d'activités logistiques tournées vers l'extérieur. La proportion de fret intercommunautaire de la communauté E-Huang-Huang (29,8 %) est légèrement inférieure à celle de la communauté Wu-Ma, en partie parce que les ports et les chemins de fer diversifient la dépendance au fret routier. Les communautés Han-Xiao et Wu-Xian démontrent toutes deux une forte adhérence interne des activités logistiques, avec des proportions de déplacements sortants de camions aussi basses que 27,4 % et 26,7 % respectivement. La communauté Xian-Tian-Qian a la proportion la plus faible de flux de fret intercommunautaire (moins de 20 %), avec le degré le plus élevé de bouclage interne des chaînes d'approvisionnement.

4 « Renforcement des pôles, développement de corridors et réorganisation communautaire » — Stratégies d'optimisation du réseau logistique de l'aire métropolitaine de Wuhan

4.1 Problèmes et objectifs politiques dans le développement et la planification du réseau logistique

Premièrement, les unités spatiales logistiques sont dispersées et fragmentées, l'implantation des fonctions de pôles est déficiente et déséquilibrée, et la construction systématique des nœuds logistiques métropolitains n'est pas encore solide. Deuxièmement, la multi-centralité et la connectivité multidirectionnelle du réseau logistique sont insuffisantes ; l'effet de diffusion des villes centrales ne s'est pas pleinement réalisé, et la participation et l'influence des districts/comtés périphériques et excentrés sont très faibles. Le niveau de réseau des corridors de connexion logistique doit urgemment être amélioré : la direction Wu-E-Huang-Huang présente une rupture médiane des connexions logistiques, la direction Wu-Xian-Tian-Qian n'a pas encore formé un corridor régional continu, et des angles morts de corridors logistiques terrestres ont été exposés au nord de Han-Xiao, le long du fleuve à Xianning, dans le centre-nord de Hong'an, la zone de base révolutionnaire des monts Dabie et d'autres régions. Les corridors logistiques fluviaux vers l'est et transversaux au fleuve doivent être complétés, et un corridor circulaire métropolitain reliant toutes les villes membres doit être coordonné. Troisièmement, la capacité de regroupement local et de synergie de proximité du réseau logistique est imparfaite ; l'écart de volume de connexions logistiques entre les cinq communautés logistiques associées doit être réduit, l'allocation d'infrastructure équilibrée entre les communautés, et les barrières d'association logistique introverties de type insulaire

telles que celles de la communauté Xian-Tian-Qian doivent être brisées. Quatrièmement, la compatibilité de planification de certaines unités spatiales logistiques doit être renforcée.

Pour remédier aux problèmes susmentionnés, en s'inspirant et en apprenant des excellentes pratiques des aires métropolitaines de la région centrale dans la construction de systèmes logistiques modernisés, et en reconnaissant que les hiérarchies de pôles scientifiques, les corridors logistiques efficaces et les mécanismes de synergie approfondis sont des leviers efficaces pour améliorer l'efficacité logistique régionale, cette étude — combinant l'orientation stratégique du Plan guidant la construction de la métropolisation, ainsi que les considérations d'aménagement spatial du transport et de la logistique moderne des neuf villes membres — propose la stratégie d'optimisation du réseau logistique de « renforcement des pôles, développement de corridors et réorganisation communautaire » (Fig. 6). Sur la base des résultats empiriques de cette étude, la stratégie consolide et possède les effets polarisants du Cluster industriel de circulation moderne Cihui-Zoumaling, de la Zone logistique commerciale de Hankoubei et d'autres pôles de fret, établit 7 pôles logistiques de niveau métropolitain incluant le Port terrestre de Wujiashan et l'Aéroport de Huahu, promeut le transport multimodal intégrant route, rail, eau et air ; construit des pôles logistiques communautaires en s'appuyant sur la Zone de développement économique de Gedian, la Zone de développement économique de Macheng et d'autres, établissant 5 bases importantes de collecte et distribution de ressources communautaires ; étend les nœuds logistiques de type parc industriel au sein des grandes agglomérations industrielles telles que la Base nationale de mémoire et la Zone de haute technologie de Xianning pour compléter les installations logistiques de service à la production ; renforce les nœuds de type parc logistique, tels que l'intégration des ressources d'entreprises logistiques dans le Parc logistique adjacent à l'aéroport de Huangpi et la Nouvelle ville adjacente à l'aéroport de Xiaogan, pour planifier raisonnablement les zones de distribution urbaine et les zones d'opérations logistiques transfrontalières ; intègre des nœuds logistiques de type transbordement et distribution à la Base logistique de chaîne du froid de Baishazhou et à la Zone de haute technologie nationale de Xiaogan, en se concentrant sur la collecte, la distribution et l'allocation des produits finis et des matières premières, déployant des installations de tri intelligentes et personnalisées ; et valorise la capacité de soutien des zones de service autoroutières pour le stationnement, le déchargement et les services au personnel des véhicules de transport régional.

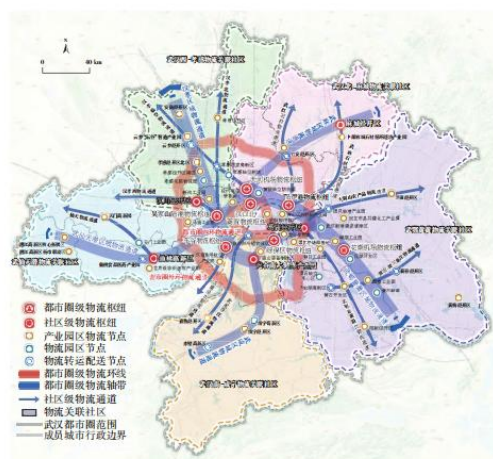


Fig. 6 Proposition de plan d'optimisation de la structure spatiale logistique de l'aire

métropolitaine de Wuhan

4.2 Renforcement des pôles logistiques régionaux à deux niveaux et affinement de la construction des nœuds fonctionnels

En consolidant les 6 unités spatiales logistiques de type pôle dans la Fig. 3, et en répondant aux exigences du plan national d'optimisation de l'implantation des pôles logistiques de 2025, avec des principes de promotion de l'équilibre territorial et de conformité aux moteurs politiques locaux, le système d'installations logistiques « pôles à deux niveaux + trois types de nœuds » de l'aire métropolitaine est construit : renforcer 7 pôles logistiques de niveau métropolitain incluant le Port terrestre de Wujiashan et l'Aéroport de Huahu, promouvoir l'intégration du fret routier et du transport multimodal « rail-eau-air » ; construire 5 bases importantes de collecte et distribution de ressources communautaires ; étendre les nœuds logistiques de type parc industriel au sein des grandes agglomérations industrielles telles que la Base nationale de mémoire et la Zone de haute technologie de Xianning pour compléter les installations logistiques de service à la production ; renforcer les nœuds de type parc logistique, tels que l'intégration des ressources d'entreprises logistiques dans le Parc logistique adjacent à l'aéroport de Huangpi et la Nouvelle ville adjacente à l'aéroport de Xiaogan, pour planifier raisonnablement les zones de distribution urbaine et les zones d'opérations logistiques transfrontalières ; intégrer des nœuds logistiques de type transbordement et distribution à la Base logistique de chaîne du froid de Baishazhou et à la Zone de haute technologie nationale de Xiaogan, en se concentrant sur la collecte, la distribution et l'allocation des produits finis et des matières premières, déployant des installations de tri intelligentes et personnalisées ; et prioriser la capacité de soutien des zones de service autoroutières pour le stationnement, le déchargement et les services au personnel des véhicules de transport régional.

4.3 Mise à niveau du réseau de corridors logistiques métropolitains et extension des corridors de flux communautaires

Sur la base de l'analyse et de la compréhension des résultats empiriques, démontrant les effets d'absorption et d'attraction du troisième périphérique de Wuhan et des autoroutes express radiales, conformant aux tendances linéaires formées par plusieurs unités spatiales logistiques dans la Fig. 3, et solidifiant la structure du réseau logistique, les formes de corridors identifiées Han-Xiao, Wu-Ma, Wu-Xian et Wu-Xian sont améliorées. Suivant les principes d'interpénétration, d'entrelacement, de solidification du réseau, d'amélioration des effets de rayonnement, d'aide à l'intégration périphérique dans le cercle métropolitain et de promotion de l'intégration intercommunautaire, le système de corridors de fret routier « double ceinture + axe en grille + multi-radial » de l'aire métropolitaine est établi.

Construction d'une double boucle logistique interne et externe de niveau métropolitain : Mise à niveau du troisième périphérique de Wuhan, ajout de voies dédiées à la logistique intelligente pour former une boucle interne de fret routier. Achèvement accéléré de l'autoroute circulaire métropolitaine, pré-contrôle des zones de service logistique intelligente et assemblage d'une boucle externe de fret.

Liaison des corridors-axes logistiques en grille de niveau métropolitain : Regroupement des lignes de transport nationales traversant la zone et des autoroutes métropolitaines structurantes, traversant et soutenant tous les pôles logistiques, connectant autant de nœuds logistiques que possible, et se concentrant sur la construction de cinq corridors interurbains : Wu-E-Huang-Huang, Han-Xiao, Wu-Ma, Wu-Xian et Wu-Xian-Tian-Qian.

Corridors logistiques communautaires radiaux équilibrés : Utilisant les pôles et les nœuds comme origines, complétant les corridors portuaires transversaux au fleuve et les routes des zones agricoles montagneuses au sein de chaque communauté logistique associée. Exemples incluant les corridors Wu-Hong et Wu-Ma pour le transport de matériaux de pierre, les corridors des monts Dabie et du nord de Han-Xiao pour la circulation des produits agricoles et forestiers, le corridor Xian-Tian et le corridor ouest de Han-Xiao pour la fabrication de vêtements/textiles et d'équipements, entre autres.

4.4 Reconstruction transfrontalière des communautés logistiques associées et renforcement de la résilience structurelle des clusters

En utilisant les cinq structures communautaires révélées dans la Fig. 5 comme fondement cognitif, en s'adaptant à la portée de rayonnement des nœuds de pôles logistiques planifiés et à la zone de desserte bilatérale potentielle des corridors logistiques structurants, suivant le modèle d'aménagement spatial industriel « centre + bande axiale » des aires métropolitaines en croissance [23], un schéma organisationnel communautaire logistique associé transrégional est construit.

Accélération de l'intégration de la communauté logistique associée Wuhan Ouest-Xiaogan : Coordination des sources de rayonnement du double pôle « Port terrestre de Wujiashan + Zone de développement économique de Hanchuan », expansion pour former une structure de corridor en « 8 » reliant les montagnes, adjacente aux ports, avec transport intermodal terre-eau-air, mettant en évidence les fonctions logistiques composées de service de parc industriel et de transbordement-distribution de la Zone de développement économique de Hong'an.

Accélération de la communauté logistique associée Wuhan Nord-Macheng : Union des quatre sources de rayonnement des pôles « Port de Yangluo + Aéroport de Tianhe + Hankoubei + Zone de développement économique de Macheng », extension pour former une structure de corridor en « 8 » reliant les montagnes, adjacente aux ports, avec transport intermodal terre-eau-air, mettant en évidence les fonctions logistiques composées de service de parc industriel et de transbordement-distribution de la Zone de développement économique de Hong'an.

Amélioration et mise à niveau de la communauté logistique associée Wuhan Sud-Xianning : S'appuyant sur les sources de rayonnement du double pôle « Zone de stockage sous douane complète + Parc industriel de santé du sud de Guanggu », stabilisation du cadre de transport régional en H, complétant les ressources de transbordement et de distribution vers la Zone de haute technologie de Chibi, et renforçant la construction des fonctions de type parc logistique dans la Zone de haute technologie de Xianning et d'autres zones.

Expansion et construction de la communauté logistique associée Wu-E-Huang-Huang : Renforcement des sources de rayonnement du double pôle « Aéroport de Huahu + Zone de développement économique de Gedian », assurant la fluidité des corridors principaux en grille « fluvial + transversal au fleuve », et expansion extraordinaire de toutes les fonctions logistiques complètes autour de l'aéroport de Huahu de manière circulaire et stratifiée.

Culture conjointe de la communauté logistique associée Wu-Xian-Tian-Qian : Soutien aux sources de rayonnement du double pôle « Auto Valley + Zone de haute technologie de Xiantao », construction d'une structure de corridor de transport en « forme humaine », et complétion des services de type parc logistique.

5 Conclusions

Sur la base des données massives de navigation des camions de Gaode, cette étude analyse le réseau logistique de l'aire métropolitaine de Wuhan, avec les conclusions clés suivantes :

① La configuration spatiale régionale des activités logistiques présente souvent des caractéristiques de modèle telles que la domination par les pôles, les opérations agglomérées, la distribution hiérarchisée et la dispersion périphérique, mais les zones d'activité des poids lourds et des camions moyens, petits et micro montrent une différenciation significative ; ② L'aire métropolitaine de Wuhan a formé 122 unités spatiales logistiques, dont les fonctions sont principalement orientées vers le service de parcs, complétées par des fonctions de transbordement-distribution et de type pôle, certaines unités présentant des écarts de compatibilité avec la planification ; ③ L'« effet Matthieu » dans les connexions logistiques est prédominant, le réseau global étant dominé par un petit nombre de nœuds à haut volume tels que Cihui-Zoumaling, et plusieurs communautés logistiques secondaires avec des structures de connectivité interne et externe nettement différentes ayant émergé ; ④ Le développement du réseau logistique de l'aire métropolitaine de Wuhan expose des problèmes tels que des nœuds fragmentés et déséquilibrés, une connectivité lâche et tardive, et une coordination insuffisante des clusters. La planification doit suivre l'approche du « renforcement des pôles, développement de corridors et réorganisation communautaire », établissant une structure spatiale logistique de « cinq types d'installations — sept corridors majeurs — cinq communautés », optimisant le système d'installations logistiques « pôles à deux niveaux, trois types de nœuds » et le système de corridors de fret routier « double ceinture, axe en grille, multi-radial », et améliorant et renforçant les fonctions de service et la résilience structurelle des communautés associées.

Cette étude fournit une nouvelle chaîne méthodologique de « fouille de données — mesure des schémas — identification des unités — analyse du réseau — réponse planificatonnelle » pour la planification spatiale logistique moderne dans les aires métropolitaines chinoises contemporaines, avec une valeur théorique et une signification de démonstration applicative pour briser les barrières des « économies de districts administratifs » et promouvoir l'intégration logistique régionale. Les recherches futures devront étendre les cycles de données et intégrer le transport multimodal « route-rail-eau-air » pour approfondir l'étude.

Références

- [1] WU Zhiqiang, LIU Xiaochang. Évolution du réseau de connaissances de l'urbanisme en Chine au cours des 40 années de réforme et d'ouverture [J]. Urban Planning Forum, 2018(5): 11-18.
- [2] HUANG Jianzhong, HU Gangyu, SHI Jianing, et al. Réflexions stratégiques sur la planification et la construction d'infrastructures majeures inter-régionales à la nouvelle ère [J]. Urban Planning, 2025, 49(2): 119-130.
- [3] YE Zhenna. Construction et application d'un modèle de diagnostic de la mobilité urbaine [J/OL]. Frontiers of Urban and Rural Planning, 2023, 1(14): 18. [2025-08-19]. <https://doi.org/10.1007/s44243-023-00016-9>.
- [4] YU Z, WANG H, LIU X. Hétérogénéité de la mobilité des zones de fret urbain : preuves géospatiales issues de la dynamique logistique partagée [J]. Journal of Transport Geography, 2024, 117: 103873.
- [5] NEUTENS T, DELAFONTAINE M, SCOTT D M, et al. Une méthode basée sur les SIG pour

identifier les lacunes spatio-temporelles dans la prestation de services publics [J]. *Applied Geography*, 2012, 32(2): 253-264.

[6] GAN Mi, QING Sandong, LIU Xiaobo, et al. Revue de l'application des données de trajectoire de camions dans le transport routier de fret [J]. *Journal of Transportation Systems Engineering and Information Technology*, 2021, 21(5): 91-101.

[7] LI Qiuping, JIA Jingnan, ZHANG Yunfei, et al. Analyse des caractéristiques des flux de fret interurbains basée sur les données de trajectoire de fret [J]. *Geomatics and Information Science of Wuhan University*, 2022, 47(5): 84-88.

[8] CHEN Z, WANG J, LI Y. Connexions interurbaines par autoroute dans les aires métropolitaines : flux de passagers vs flux de fret [J]. *Journal of Transport Geography*, 2022, 98: 103272.

[9] ZHU C S, WANG X, WANG D, et al. La liaison spatiale des villages Taobao en Chine et aux États-Unis [J]. *Journal of Transport Geography*, 2021, 91: 102992.

[10] MAOH H, DIMATULAC T, KHAN S, et al. Étude du comportement de choix de passage frontalier des camions circulant entre l'Ontario, Canada et la ville de Haining basée sur le processus opérationnel [J/OL]. *Frontiers of Urban and Rural Planning*, 2023, 1(16): 19. [2025-08-19]. <https://doi.org/10.1007/s44243-023-00017-8>.

[11] NIU Xinyi, LIN Shijia. Méga-données spatio-temporelles dans la recherche en planification urbaine : évolution technologique, thèmes de recherche et tendances frontalières [J]. *Urban Planning Forum*, 2022(6): 50-57.

[12] HU Yang, WANG De, REN Xiyuan, et al. Mécanismes et stratégies de congestion routière dans la perspective du comportement spatio-temporel : étude de cas du tunnel Xiangyin à Shanghai [J]. *Urban Planning*, 2024, 48(8): 55-66.

[13] ZHAO Y, CHENG S, LIU K, et al. Connexions de fret interurbaines en Chine dans la perspective des trajectoires massives de camions [J]. *Cities*, 2024, 150: 105034.

[14] WU Siyu, ZHONG Yexi, LI Jianxin. Évolution et caractéristiques de corrélation spatiale du réseau ferroviaire de fret interprovincial en Chine de 1990 à 2019 [J]. *Acta Geographica Sinica*, 2024, 79(10): 2548-2566.

[15] WANG Qixuan, CHENG Yao. Mesure de la multi-centralité des agglomérations urbaines chinoises en tenant compte des connexions internes et externes [J/OL]. *Frontiers of Urban and Rural Planning*, 2023, 1(19): 22. [2025-08-19]. <https://doi.org/10.1007/s44243-023-00023-w>.

[16] XIAO Hongwei, ZHAO Min, ZHANG Jie, et al. Analyse de corrélation spatiale multi-échelle et thèmes de planification des « nouvelles villes » à la nouvelle ère : exemples de Beijing, Shanghai et Guangzhou [J]. *Urban Planning Forum*, 2022(2): 32-39.

[17] ZHANG Shangwu, PAN Xin. Réflexions stratégiques sur la planification et la construction d'infrastructures majeures inter-régionales à la nouvelle ère [J]. *Urban Planning*, 2021(2): 38-44.

[18] DABLANC L. Transport de marchandises dans les grandes villes européennes : difficile à organiser, difficile à moderniser [J]. *Transportation Research Part A: Policy and Practice*, 2007, 41(3): 280-285.

[19] GAN Mi, QING Sandong, LIU Xiaobo, et al. Revue de l'application des données de trajectoire de camions dans le transport routier de fret [J]. *Journal of Transportation Systems Engineering and Information Technology*, 2021, 21(5): 91-101.

[20] JIAO Hongzan, YANG Faxing, XU Shasha, et al. Recherche sur les stratégies d'optimisation

de l'aménagement spatial de la logistique urbaine de fret moderne : étude de cas de Wuhan [J]. Shanghai Urban Planning, 2023(2): 93-100.

[21] ZHOU Huan, HUANG Jin, ZOU Xiao, et al. Connexions logistiques internes urbaines et structure du réseau dans la perspective de l'espace de flux : étude de cas de Shenzhen [J]. Tropical Geography, 2023, 43(10): 1917-1928.

[22] CHENG Cheng, CHEN Wendong, MA Hongsheng, et al. Méthode d'identification des communautés d'activité des vélos en libre-service basée sur l'algorithme de Leiden : étude de cas de Nanjing [J]. Journal of Transport Information and Safety, 2023, 41(2): 103-111.

[23] YUAN Man, ZHANG Xuan, SHAN Zhuoran, et al. Caractéristiques d'organisation spatiale industrielle et stratégies d'optimisation de l'aire métropolitaine de Wuhan dans la perspective des clusters industriels [J]. Urban Planning Forum, 2024(1): 63-73.