

Identification, classification et modèles d'aménagement des corridors TOD au prisme de l'équilibre des flux de passagers : le cas de Shanghai

LIU Bing, WANG Zhiwei, WANG Geyang, ZHU Junyu, CAO Juanjuan, XU Lei

Résumé : Le niveau d'équilibre des flux de voyageurs dans les corridors de Transit-Oriented Development (TOD) influe directement sur leurs performances d'exploitation et de service ; les relations entre les stations du corridor y jouent un rôle déterminant. À partir des données origine-destination du réseau ferré de Shanghai, cet article applique un algorithme de détection de communautés afin d'identifier les ensembles de stations fortement connectées, de délimiter les tronçons des corridors TOD et de les classer en trois types : radiaux, orthogonaux et sinueux. Il construit ensuite un indice d'équilibre de profil longitudinal et un indice d'équilibre bidirectionnel. Les résultats montrent des écarts significatifs entre corridors pour ces deux indicateurs ; une classification bidimensionnelle permet de distinguer quatre catégories : double équilibre, équilibre directionnel, équilibre de profil et double déséquilibre. Les corridors en double équilibre présentent des caractéristiques polycentriques et de mixité fonctionnelle, tandis que les corridors en double déséquilibre correspondent à des chapelets périphériques de secteurs résidentiels. L'article propose enfin, à l'échelle du corridor TOD, des « principes 5D » fondés sur l'équilibre des flux de voyageurs. La méthode de découpage des corridors et l'évaluation de leur équilibre de fréquentation fournissent un cadre technique intégré pour l'optimisation spatiale du TOD à l'échelle du corridor et la coordination entre stations.

Mots-clés : corridor TOD ; équilibre des flux de passagers ; indice d'équilibre de profil ; indice d'équilibre directionnel ; modèle spatial du corridor-TOD ; Shanghai

Classification de la Bibliothèque chinoise : TU984 ; Code documentaire : A

DOI : 10.16361/j.upf.202501014 ; Numéro d'article : 1000-3363(2025)01-0102-09

Présentation des auteurs : LIU Bing, professeur et directeur de thèse, Collège d'architecture et d'urbanisme, Université Tongji ; Laboratoire clé des technologies de planification intelligente de l'espace territorial, ministère des Ressources naturelles ; Laboratoire clé de Shanghai pour le renouvellement urbain et les technologies d'optimisation spatiale ; Laboratoire clé d'écologie et d'économie d'énergie des environnements résidentiels denses, ministère de l'Éducation (Université Tongji). Courriel : liubing1239@tongji.edu.cn ; WANG Zhiwei, doctorant au Collège d'architecture et d'urbanisme de l'Université Tongji ; directeur de planification et urbaniste senior, Institut de planification des transports urbains, Suzhou Planning & Design Research Institute Co., Ltd. ; WANG Geyang, ingénieur, Shanghai Tongji Urban Planning and Design Institute Co., Ltd. ; auteur correspondant. Courriel : wgy_8d183f@126.com ; ZHU Junyu, ingénieur, Shanghai Institute of Urban and Rural Construction and Transportation Development ; CAO Juanjuan, planificatrice adjointe en chef et ingénieure senior, Shanghai Tongji Urban Planning and Design Institute Co., Ltd. ; XU Lei, doctorant au Collège d'architecture et d'urbanisme de l'Université Tongji ; ingénieur en chef adjoint et ingénieur senior, Institut de conception et de planification de l'espace urbain et des transports, Shanghai Tongji Urban Planning and Design Institute Co., Ltd.

Financement : Projet général de la Fondation nationale des sciences naturelles de Chine, « Modèles spatiaux et stratégies d'optimisation des corridors TOD ferroviaires au prisme de l'équilibre des flux de passagers : le cas de l'aire métropolitaine de Shanghai » (no 52178052) ; projet 2024 de coopération

industrie-université du ministère de l'Éducation, Shanghai Tongji Urban Planning and Design Institute Co., Ltd., « Cas de projets de planification des transports publics fondés sur les technologies numériques » (no 231100155192902) ; projet spécial 2022 de recherche consultative décisionnelle de Shanghai sur la planification et la construction des villes nouvelles, « Stratégies d'intégration entre construction de transports verts et bas carbone et espace urbain dans les villes nouvelles de Shanghai dans un contexte de développement de haute qualité » (no 2022-Z-W07-A).

1 Contexte de recherche

1.1 Émergence du concept de TOD et développement des pratiques

En 1993, Peter Calthorpe^[1], sur la base de la théorie du Nouvel Urbanisme, a proposé le concept de TOD comme « développement compact au service des transports collectifs ». Celui-ci répondait au mouvement nord-américain de smart growth, favorisait une relecture des expériences de développement le long des voies ferrées en Europe et en Asie, et a stimulé de nombreuses pratiques articulées à la construction des systèmes de transport public. Le TOD est ainsi devenu, depuis près de trente ans, une question centrale pour les milieux de la planification. Parce qu'il promeut la marche, la mixité fonctionnelle, la diversité résidentielle et la création de centralités publiques, objectifs cohérents avec la maîtrise de l'étalement urbain, l'amélioration de la qualité de l'air et le renforcement des interactions sociales, des politiques TOD ont été adoptées à l'échelle des villes, des régions et même des États : manuels ou règlements à Denver^[2], Austin^[3] et Delhi^[4], stratégies et guides pour le Maryland central^[5] ou la baie de San Francisco^[6], politique nationale en Malaisie^[7], ainsi qu'appuis de projets par des organismes internationaux tels que l'Institute for Transportation and Development Policy^[8] et la Banque mondiale^[9].

Le concept de TOD a été introduit en Chine autour de 2000^[10]. Les premiers travaux ont porté sur le rôle des formes d'occupation du sol TOD dans la promotion des transports publics et la résolution des problèmes liés à la motorisation^[11]. L'« accélération de la mise en place d'un mode de développement urbain orienté vers les transports publics » a ensuite été explicitement intégrée aux exigences du programme de démonstration des « villes de transport public »^[12]. Avec l'allongement continu des réseaux ferrés urbains, la stratégie « rail + immobilier », mobilisant la valorisation foncière pour soutenir la construction et l'exploitation du rail, a reçu une attention croissante ; en 2016, la Commission nationale du développement et de la réforme a organisé un séminaire sur l'innovation des mécanismes d'investissement et de financement du rail urbain^[13], tandis que les recherches sur la récupération de la plus-value foncière liée au rail se multipliaient^[14-18]. Les pratiques locales sont également en plein essor : Beijing, Tianjin, Shenzhen, Chengdu, Hangzhou, Nanjing, Dongguan, Foshan, Suzhou et d'autres villes ont élaboré des stratégies de développement TOD ou des plans spécialisés. Selon des statistiques incomplètes, parmi les plus de cinquante villes chinoises disposant d'un réseau ferré urbain en service, plus de la moitié ont formulé des politiques relatives au développement intégré autour des stations, encourageant l'élaboration et la mise en œuvre de projets TOD^[19].

1.2 Montée en importance du TOD de corridor

Figure de proue du Nouvel Urbanisme attentive à la croissance régionale, Calthorpe souligne que le TOD est, par essence, un « mode de développement régional du Nouvel Urbanisme » : il s'agit d'intégrer, à l'échelle régionale, les relations entre transports publics et usages du sol afin de produire une forme spatiale plus compacte^[21]. Le modèle régional de TOD résulte de la coordination de multiples TOD de station à l'échelle du quartier, le long des lignes principales et secondaires^[1] ; cette structure réticulaire de corridors, globale et ordonnée, suppose de s'appuyer sur le réseau de transports collectifs pour organiser la structure urbaine^[22]. Sous l'influence des « principes 3D »^[23], les

premiers travaux et pratiques TOD se sont concentrés sur l'échelle du voisinage, en mettant l'accent sur l'amélioration de l'environnement bâti des stations pour favoriser l'usage des transports publics^[24-25]. Toutefois, le développement TOD station par station tend à produire des « îlots » isolés^[26]. Afin de capter les effets de réseau du TOD, la recherche s'est déplacée vers l'échelle macro^[27], accordant une attention croissante à la planification du corridor TOD (Corridor TOD, CTOD), c'est-à-dire à la coordination entre les stations situées le long des lignes. Le TOD est ainsi passé d'un outil de planification communautaire à l'échelle du quartier à une stratégie de restructuration urbaine à l'échelle régionale^[28].

Aux États-Unis, le manuel *Station Area Planning: How to Make Great Transit-Oriented Places* a très tôt fait du « corridor à fonctions mixtes » un type de secteur de station TOD^[29]. Plus tard, le rapport *Transit Corridors and TOD: Connecting the Dots* a distingué trois niveaux spatiaux - station, corridor et région - et a subdivisé le TOD de corridor en trois types : corridor de destination, corridor de navettage et corridor de circulation locale^[30]. En Chine, les *Guidelines for Planning and Design of Areas along Urban Rail Transit* ont également proposé des orientations TOD aux niveaux de la ville, de la ligne et de la station^[31] ; le « TOD Platform » du ministère du Logement et du Développement urbain-rural a ensuite établi un système d'évaluation et d'indicateurs à trois niveaux. Le TOD est désormais compris comme un modèle spatial multi-échelle, qui relie l'aménagement micro-local des quartiers à une stratégie de transport plus large et qui vise, par une planification intégrée de l'usage du sol et des transports, à maximiser l'efficacité du transport collectif de voyageurs^[32]. Situé entre l'échelle de la ville et celle de la station, le TOD de corridor joue un rôle déterminant pour coordonner les TOD de station et former des réseaux hiérarchisés de TOD de tailles, fonctions et formes diverses^[30].

1.3 Retard relatif des recherches sur le TOD de corridor

Bien que l'on reconnaisse de plus en plus la nécessité d'obtenir des effets de réseau plus larges par le TOD de corridor^[33], les méthodes de planification à cette échelle demeurent peu mûres. Dans l'extension théorique des principes « 3D » aux « 5D », seule l'accessibilité aux destinations reflète l'influence significative de la structure urbaine et des conditions de réseau à l'échelle macro sur le développement des transports collectifs^[24,34]. Cet indicateur mesure la facilité d'accès depuis les stations vers les centres d'activités et autres pôles d'attraction, mais ne constitue pas un ensemble de principes multidimensionnels pour guider la planification spatiale des corridors TOD. Le modèle nœud-lieu (N-P) de Bertolini^[35] permet d'évaluer la correspondance entre la valeur de nœud et la valeur de lieu des stations dans des analyses multi-stations à l'échelle du corridor ou de la région, mais il reste une approche fondée sur l'unité station. Si des travaux récents ont combiné les « principes D » et le modèle N-P pour classer les TOD^[36-37], ils ne dépassent pas la limite de l'unité station et peinent encore à révéler les caractéristiques d'ensemble du développement des corridors TOD et leurs relations avec les flux de voyageurs. Il est donc nécessaire de faire du corridor de transport public l'unité spatiale des recherches TOD^[38-39] : cela ouvre des possibilités de planification des usages du sol le long des lignes au service de l'amélioration du transport public et fournit une base pour évaluer le degré de coordination entre TOD de stations. Certains auteurs^[33] considèrent d'ailleurs que l'optimisation de la performance d'exploitation des transports publics constitue l'un des principaux objets de recherche sur le TOD de corridor.

Les insuffisances actuelles des recherches sur le TOD de corridor peuvent être résumées en trois points. Premièrement, les critères de délimitation spatiale des corridors de transport public sont hétérogènes : certains travaux choisissent directement une ligne de transport^[40] ; d'autres prennent comme point de départ la section de plus forte charge et prolongent le corridor de 3 à 5 km vers les deux extrémités^[41] ; d'autres encore définissent le périmètre selon le travel shed, soit 55-65 minutes

de trajet ou 15-20 miles (24-32 km)^[28] ; d'autres utilisent des algorithmes de détection de communautés^[42], ce qui réduit la comparabilité entre études. Deuxièmement, la distribution des flux de voyageurs et les conditions d'exploitation des lignes sont insuffisamment prises en compte. De nombreuses recherches soutiennent le développement de forte intensité autour des stations pour accroître les déplacements en transport public, mais peu d'auteurs ont relevé les effets négatifs de très fortes charges de section en milieu dense ; à Taipei, par exemple, il a été montré que l'intensité de développement des secteurs de station, au-delà d'un certain seuil, peut nuire à l'exploitation des transports et au niveau de service des équipements publics^[43]. Troisièmement, la relation usage du sol-transport à l'échelle du corridor est encore peu mesurée et il manque des indicateurs quantitatifs décrivant l'environnement bâti du corridor et les caractéristiques de ses flux de voyageurs. Les travaux abordant l'aménagement des corridors TOD sous l'angle de l'équilibre des flux commencent à se multiplier : une étude sur Bogotá^[44] montre que la mixité emploi-résidence le long des lignes contribue à lisser les pointes et à équilibrer les flux de section ; des chercheurs chinois^[45-46] se sont également intéressés au phénomène pendulaire du rail urbain et à l'équilibre des charges de voyageurs. Les discussions théoriques et méthodologiques sur la planification des corridors TOD restent néanmoins très limitées.

Cet article vise donc à construire un cadre technique de planification TOD à l'échelle du corridor fondé sur l'équilibre des flux de voyageurs. Partant de la délimitation des tronçons de corridor, il mesure les niveaux d'équilibre et les modèles spatiaux de différents corridors afin de soutenir la coordination du développement entre stations TOD et l'amélioration de la performance d'exploitation des transports publics.

2 Identification des corridors TOD fondée sur les tronçons fortement connectés

2.1 Méthode d'identification des corridors TOD

Un corridor TOD est un tronçon de ligne dont les connexions internes sont relativement fortes et qui porte les principales activités de déplacement en transport public le long de la ligne. S'inspirant de la notion de « travel shed »^[33], cet article définit le périmètre concret du corridor TOD selon la distribution spatiale des déplacements des voyageurs dans l'aire desservie. Les données OD entre stations du réseau ferré de Shanghai sont mobilisées avec une méthode de « détection de communautés » (community detection) afin d'identifier des communautés de stations étroitement liées, qui servent de base au découpage des corridors TOD. Les données utilisées correspondent à une journée ouvrable de juillet 2022, sur l'ensemble de la journée. Les flux des stations d'échange sont d'abord affectés aux stations de chaque ligne spécifique (par exemple, People's Square sur la ligne 1 et People's Square sur la ligne 2) ; puis un graphe non orienté pondéré $G=(V,E)$ est construit à partir des volumes de flux. L'ensemble des sommets V correspond aux stations de métro rattachées à des lignes spécifiques, l'ensemble des arêtes E représente les relations de flux entre paires de stations, et le poids de l'arête $e(v_1,v_2)$ est le volume total de voyageurs entre les deux stations correspondant aux sommets v_1 et v_2 ^①.

L'algorithme retenu est l'algorithme de détection de communautés de Louvain fondé sur la modularité^②. Il répartit les nœuds du réseau en groupes dont les connexions internes sont plus denses et les connexions entre groupes plus lâches, ce qui permet d'obtenir des « communautés de corridor » TOD. Comme les communautés identifiées par l'algorithme de Louvain tendent à présenter des volumes internes proches, les lignes à forte fréquentation peuvent être découpées en plusieurs communautés, tandis que les lignes à faible fréquentation ne sont pas subdivisées. Une procédure en deux temps, « division globale - subdivision », est donc adoptée : avec une modularité initiale fixée à

2, les lignes très fréquentées sont d'abord divisées en plusieurs « grandes communautés » aux volumes internes proches ; une détection de communautés est ensuite menée séparément dans chaque grande communauté afin d'obtenir de plus petites sous-communautés. Lorsque les stations d'une communauté sont discontinues et insérées dans une autre communauté, les stations intercalées sont traitées comme zones de chevauchement entre ces communautés. Plusieurs corridors TOD continus sont ainsi obtenus^③.

2.2 Résultats de l'identification des corridors TOD

Selon cette méthode, 41 corridors TOD sont identifiés dans l'aire de Shanghai, dont trois corridors de branche ; la plupart des lignes de métro sont divisées en deux ou trois corridors TOD (Fig.1). Du point de vue morphologique, ces corridors peuvent être regroupés en trois catégories : radiaux, orthogonaux et sinueux. Les 22 corridors radiaux ont une longueur moyenne d'environ 25,0 km et comptent en moyenne 14 sections ; les 13 corridors orthogonaux et les 6 corridors sinueux, localisés pour l'essentiel dans et autour de la ville-centre, comptent tous deux environ 12 sections en moyenne et ont des longueurs proches, respectivement 16,1 km et 15,8 km, soit environ les deux tiers de celle des corridors radiaux, principalement en raison d'interstations plus courtes.

Les corridors radiaux relient principalement la ville-centre aux villes nouvelles, aux bourgs périurbains, à l'aéroport de Pudong et à d'autres secteurs périphériques. Les corridors orthogonaux constituent surtout le réseau ferré dense traversant le centre, en particulier Puxi. Les corridors sinueux se situent principalement sur les lignes circulaires et sur les tronçons présentant des changements d'orientation, avec un rôle majeur de liaison entre Puxi et Pudong. En raison des multiples correspondances et de l'entrelacement des lignes dans le centre, les corridors orthogonaux et sinueux se chevauchent fréquemment avec d'autres corridors : un même tronçon ou une même station peut donc correspondre à plusieurs corridors TOD plutôt qu'à une relation strictement univoque. Cela confirme les phénomènes d'intrication locale observés dans certaines « communautés de corridor ». Voir Tab.1.

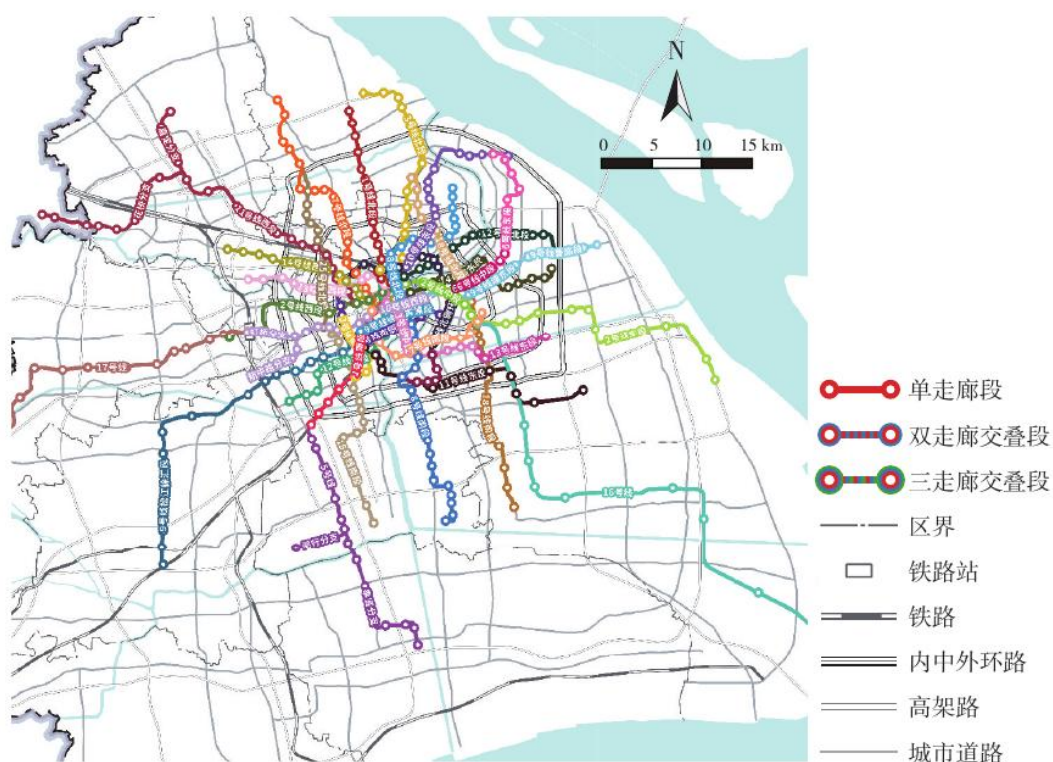


Fig.1 Corridors TOD de l'aire de Shanghai

Tab.1 Identification et classification typologique des corridors TOD

走廊形态		构成
放射走廊	北向	1号线北段(富锦路—人民广场)、3号线北段(江杨北路—上海火车站)、7号线北段(美兰湖—静安寺)、10号线东段(基隆路—豫园)、15号线北段(顾村—红宝路)
	南向	5号线闵行分支(闵行开发区—莘庄)、5号线奉贤分支(奉贤新城—莘庄)、8号线南段(汇臻路—大世界)、15号线南段(紫竹高新区—姚虹路)、16号线(滴水湖—龙阳路)、18号线南段(航头—杨高中路)
	西向	9号线松江徐汇段(松江南站—宜山路)、11号线西段花桥分支(花桥—江苏路)、11号线西段嘉定分支(嘉定北—江苏路)、17号线(东方绿舟—虹桥2号航站楼)
	东向	2号线东段(浦东国际机场—上海科技馆)、6号线东段(港城路—北洋泾路)、9号线浦东段(民雷路—小南门)、9号线曹路段(曹路—台儿庄路)、11号线东(迪士尼—交通大学)、13号线东段(张江路—陈春路)
纵横走廊	横向	2号线西段(徐泾东—人民广场)、2号线中段(龙阳路—南京东路)、9号线徐汇黄浦段(星中路—陆家浜路)、10号线西段航中路分支(航中路—老西门)、10号线西段虹桥分支(虹桥火车站—老西门)、12号线东段(金海路—天潼路)、13号线西段(金运路—自然博物馆)、14号线西段(封浜—大世界)、14号线东段(桥路—豫园)
	纵向	1号线南段(莘庄—大会址·黄陂南路)、8号线北段(市光路—人民广场)、12号线西段(七莘路—曲阜路)、18号线北段(长江南路—民生路)
弯绕走廊		3号线南段(上海南站—中潭路)、4号线北侧环(蓝村路—曹杨路)、4号线南侧环(金沙江路—塘桥)、6号线西段(云山路—东方体育中心)、6号线中段(巨路—世纪大道)、7号线南段(花木路—常熟路)、13号线中段(北蔡—南京西路)

3 Analyse de l'équilibre des flux de voyageurs dans les corridors TOD

L'équilibre spatial des flux de voyageurs dans un corridor TOD se manifeste selon deux dimensions : l'équilibre entre les sections le long de la ligne et l'équilibre entre les deux sens de circulation. Les indicateurs d'évaluation correspondants sont construits ci-après, puis appliqués à la comparaison des corridors.

3.1 Évaluation de l'équilibre de profil des flux dans les corridors TOD

En s'inspirant de la notion statistique de kurtosis, cet article construit un indicateur d'évaluation de l'équilibre des flux de voyageurs entre les sections d'un corridor TOD. Lorsque les volumes de voyageurs sont identiques sur toutes les sections, c'est-à-dire parfaitement uniformes, le niveau d'équilibre est maximal. À partir de cette courbe de référence, l'article propose l'« indice d'équilibre de profil » (Profile Equilibrium Index, PEI), défini comme l'écart entre la kurtosis de la distribution observée des flux et celle d'une distribution uniforme.

Pour le sens montant ou descendant^④, l'indice PEI se calcule comme suit :

$$PEI = kurt(X) - 1,8 = E[(X - \mu)/\sigma]^4 - 1,8$$

où PEI désigne l'indice d'équilibre de profil du corridor ; kurt(X) est la kurtosis de la courbe observée X des flux de section ; 1,8 est la kurtosis d'une distribution uniforme ; E(x) est l'espérance de la variable x ; μ est la moyenne de la distribution X ; σ est son écart type.

Dans le calcul, le volume transporté par chaque section dans un sens donné est rapporté au volume total transporté par l'ensemble des sections du corridor ; ces proportions permettent d'établir la courbe de distribution des flux par section et de calculer le PEI. Lorsque la valeur est égale à 0, la distribution est la plus uniforme ; lorsqu'elle est inférieure à 0, les flux sont plus élevés aux deux extrémités et plus faibles au centre ; lorsqu'elle est supérieure à 0, plus la valeur est grande, plus la distribution est inégale et concentrée vers un côté. Une valeur proche de 0,6 correspond à une croissance quasi linéaire des flux le long des sections ; au-delà de 1, la courbe présente un « segment de queue » à faible flux, et plus la valeur est élevée, plus l'effet de « longue traîne » est marqué.

Le calcul des PEI aux heures de pointe du matin [Fig.2(a)] montre que les corridors radiaux présentent le plus faible équilibre de section : leurs valeurs moyennes de kurtosis en sens montant et descendant atteignent respectivement 0,67 et 0,95, nettement au-dessus des corridors orthogonaux (0,39 et 0,48) et des corridors sinueux (0,49 et 0,28). Bien que la plupart des corridors aient un PEI plus

faible en sens montant, le problème de longue traîne y reste saillant ; de plus, les flux en sens montant étant plus importants le matin, l'incidence sur l'exploitation et le service du rail urbain ne peut être négligée. Parmi les corridors radiaux reliant la ville-centre aux villes nouvelles, à l'exception de la branche Jiading de la section ouest de la ligne 11, les valeurs du sens montant de la branche Fengxian de la ligne 5, de la section Songjiang-Xuhui de la ligne 9, de la branche Huaqiao de la section ouest de la ligne 11, de la ligne 16 et de la ligne 17 sont toutes proches de 1.

À l'inverse, les corridors équilibrés dont le PEI est inférieur à 0,3 se concentrent surtout dans la ville-centre, par exemple les sections centrales des lignes 2, 6, 9 et 13 traversant la Central Activity Zone, ainsi que la ligne circulaire 4, qui offre de nombreuses correspondances. Certains corridors entrant dans la Central Activity Zone depuis les abords du centre présentent un PEI en sens montant compris entre environ 0,3 et 0,5, soit un niveau d'équilibre intermédiaire. Cette distribution - flux stables au centre, écarts marqués en périphérie - est étroitement liée à la structure spatiale monocentrique à l'échelle municipale et à la configuration polycentrique de la ville-centre.

3.2 Évaluation de l'équilibre bidirectionnel des flux dans les corridors TOD

Sous l'effet des déplacements pendulaires centripètes, les rapports entre les flux montants et descendants des sections des corridors radiaux aux heures de pointe du matin - autrement dit les coefficients de déséquilibre bidirectionnel - sont élevés, atteignant environ 4 sur certaines sections. Comme le domaine de valeurs de ce coefficient n'est pas borné et que les écarts positifs et négatifs peuvent se compenser lors de l'agrégation entre sections, il ne permet pas de représenter entièrement le déséquilibre bidirectionnel du corridor dans son ensemble. L'article construit donc un « indice d'équilibre directionnel » (Directional Equilibrium Index, DEI) fondé sur la différence de flux entre les deux sens sur chaque section. Il correspond à la racine de la moyenne quadratique du rapport entre l'écart des flux des deux sens et le volume total bidirectionnel de chaque section ; il évalue le degré global de déséquilibre directionnel et reflète aussi le caractère pendulaire des flux du corridor. L'indice varie de 0 à 1 : plus la distribution entre les deux sens est déséquilibrée, plus la valeur est grande. Lorsque les volumes montants et descendants sont strictement égaux sur chaque section, la valeur est 0 ; lorsqu'un sens ne transporte aucun voyageur, elle est 1.

La formule de calcul du DEI est la suivante :

$$DEI = \sqrt{(1/n) \sum_i ((u_i/f_i) - (d_i/f_i))^2}$$

où DEI désigne l'indice d'équilibre directionnel ; u_i et d_i représentent respectivement les volumes de voyageurs en sens montant et descendant sur la section i ; f_i est le volume total de la section i , égal à $u_i + d_i$; n est le nombre total de sections.

Les DEI calculés pour la pointe du matin se situent principalement entre 0,1 et 0,7 [Fig.2(b)]. Lorsque l'indice dépasse 0,7, le déséquilibre est extrême et le rapport des flux entre les deux sens atteint environ 6:1 ; lorsque l'indice vaut 0,5, le déséquilibre reste marqué, avec un rapport d'environ 3:1 ; lorsque l'indice vaut 0,2, l'équilibre est relativement bon, avec un rapport voisin de 3:2.

Dans l'ensemble, les corridors radiaux présentent les déséquilibres bidirectionnels les plus prononcés [Fig.2(b)]. Certains corridors bordés de façon continue par des secteurs résidentiels, tels que les sections nord des lignes 7 et 15 ou la section sud de la ligne 18, affichent dès leur section périphérique initiale des flux pendulaires manifestes. Plusieurs corridors reliant la ville-centre aux villes nouvelles atteignent également un niveau de déséquilibre supérieur à 0,55, notamment la section ouest de la ligne 9 (ville-centre - ville nouvelle de Songjiang), la section ouest de la ligne 11 (ville-centre - ville nouvelle de Jiading) et la ligne 17 (ville-centre - ville nouvelle de Qingpu). Leurs valeurs ne sont

toutefois pas les plus élevées, car ces corridors comportent un segment de queue où les flux dans les deux sens sont faibles.

Les corridors situés dans la ville-centre présentent des flux bidirectionnels relativement équilibrés, avec un niveau d'équilibre plus élevé à Puxi. Les corridors typiquement équilibrés comprennent les sections ouest et centrale de la ligne 2, la section Xuhui-Huangpu de la ligne 9, la section ouest de la ligne 10, la section sud de la ligne 12 et le demi-anneau sud-ouest de la ligne 4, formant une structure de « trois axes horizontaux, un axe vertical et un demi-anneau ». Leurs DEI avoisinent 0,2 ; spatialement, ils traversent la Central Activity Zone et relient plusieurs centres publics.

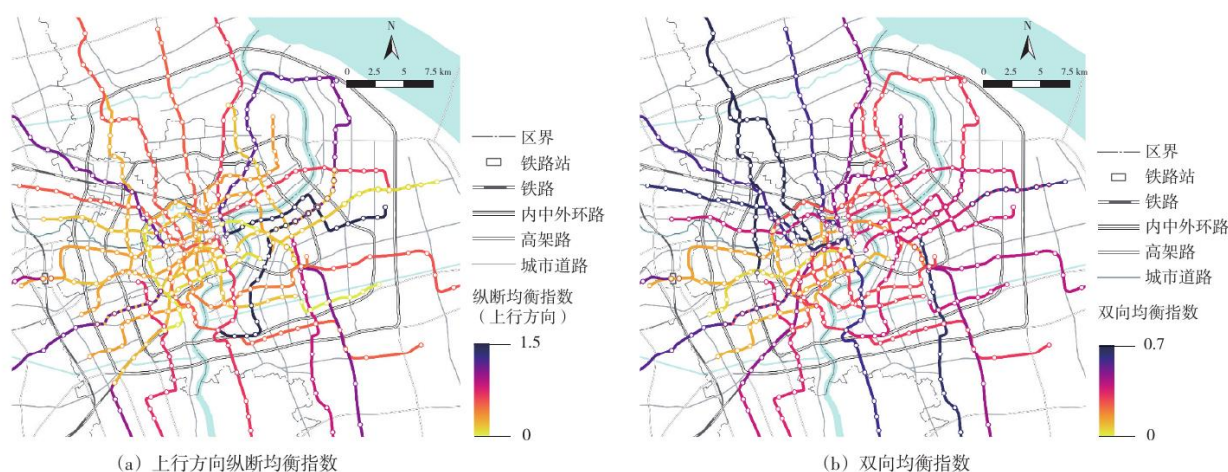


Fig.2 Corridors TOD de Shanghai selon le niveau d'équilibre des flux de voyageurs

3.3 Analyse bidimensionnelle de l'équilibre des flux dans les corridors TOD

Afin d'analyser conjointement l'équilibre des flux le long des sections et entre les deux sens, les rangs percentiles du PEI et du DEI de chaque corridor parmi l'ensemble des corridors sont calculés, puis une carte de classification bidimensionnelle est dessinée : chaque corridor y est représenté par un cercle centré sur le point correspondant à ses deux percentiles, le rayon du cercle indiquant la charge moyenne de section du corridor pendant l'heure de pointe du matin. Voir Fig.3.

En prenant comme seuil le percentile médian (50 %) de chaque indicateur, les corridors TOD sont divisés en quatre groupes. Dans le sens horaire à partir du quadrant supérieur droit, on distingue : les corridors en « double déséquilibre » (déséquilibre directionnel avec longue traîne), ceux en « seul équilibre de profil » (déséquilibre directionnel sans longue traîne), ceux en « double équilibre » (équilibre directionnel sans longue traîne) et ceux en « seul équilibre directionnel » (équilibre directionnel avec longue traîne). Les corridors en double équilibre sont au nombre de 13, et les corridors en double déséquilibre au nombre de 14 ; ensemble, ils représentent 66 % des corridors, ce qui indique une certaine association entre l'équilibre de profil et l'équilibre directionnel.

Ces quatre types présentent des distributions spatiales très différenciées. Les corridors en double équilibre se situent majoritairement à l'ouest du Huangpu et au sud de Suzhou Creek, secteur qui coïncide fortement avec la Central Activity Zone (CAZ) de Shanghai ; ils sont principalement bordés de zones denses à fonctions mixtes. La plupart des corridors en seul équilibre directionnel se trouvent à l'est du Huangpu ; leur déséquilibre de profil reflète la baisse rapide de l'intensité de développement à mesure que l'on s'éloigne de la CAZ riveraine de Pudong. Les corridors en double déséquilibre sont pour la plupart des corridors radiaux s'étendant de la CAZ vers les banlieues lointaines ; leurs extrémités se situent généralement dans des villes nouvelles de Shanghai (Songjiang, Fengxian, etc.) ou dans des secteurs de nature comparable (Pujiang, Wusong, etc.). Entre ces extrémités et la ville-

centre s'étirent des quartiers résidentiels continus : les sections proches de l'extrémité portent souvent peu de flux et présentent une longue traîne marquée, tandis que les flux augmentent rapidement aux stations desservant de grands quartiers d'habitat, avec une forte directionnalité pendulaire. Les corridors présentant seulement un équilibre de profil sont des corridors radiaux qui partent de la CAZ vers l'extérieur mais sur une distance relativement limitée ; dépourvus de queue à faible flux, ils affichent de bons PEI, tout en conservant un phénomène pendulaire évident, comme les sections nord des lignes 8 et 15.

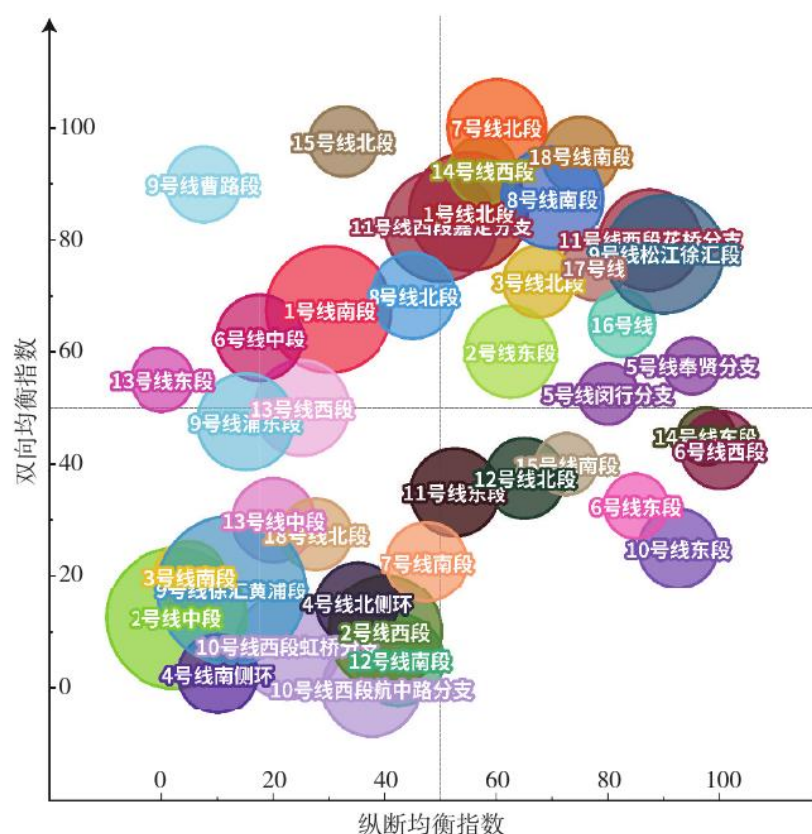


Fig.3 Rang percentiles des indices d'équilibre de profil et d'équilibre directionnel des corridors

4 Analyse des modèles spatiaux des corridors TOD au prisme de l'équilibre des flux

4.1 Distribution des types de stations dans les corridors TOD

La configuration d'usage du sol d'un corridor TOD se lit dans les fonctions des secteurs de station qui le jalonnent. À partir de la similarité des courbes horaires de flux des stations en semaine et les jours non ouvrés, les stations sont classées en six types fonctionnels : centre d'activités intégré, centre à dominante tertiaire, mixité dominée par les bureaux, mixité diversifiée, dominante résidentielle et dépendance résidentielle. Dans cet ordre, la part des fonctions de bureaux diminue tandis que celle des fonctions résidentielles augmente. Spatialement, les stations de type centre d'activités intégré et centre à dominante tertiaire se concentrent dans la CAZ ; les stations de mixité dominée par les bureaux et de mixité diversifiée se situent surtout dans la ville-centre ; les stations à dominante résidentielle ou à dépendance résidentielle se distribuent principalement hors de la ville-centre, le long des corridors radiaux.

À titre comparatif, les corridors en double déséquilibre sont surtout radiaux : ils relient les fonctions résidentielles des villes nouvelles et des secteurs périurbains lointains aux fonctions de bureaux, de commerce et de services de la ville-centre, constituant ainsi des corridors de navettage de

longue distance marqués par la séparation emplois-logements. Les corridors en double équilibre sont principalement des corridors orthogonaux connectant la CAZ et des tronçons sinueux de lignes circulaires ; ils relient plusieurs centres, supportent des volumes importants et fonctionnent comme des corridors de destination. Les deux autres catégories présentent elles aussi des caractéristiques d'usage du sol distinctes : les corridors directionnellement équilibrés mais déséquilibrés en profil se terminent généralement par des stations mixtes dominées par des fonctions non résidentielles ; un certain équilibre emplois-logements y attire des flux de contre-pointe, mais la faible intensité de développement périphérique crée de fortes différences de flux entre périphérie et centre. Les corridors équilibrés en profil mais déséquilibrés directionnellement se terminent par des stations à dépendance résidentielle proches de la ville-centre ; leur environnement résidentiel abondant sature globalement les flux de section, tandis que la rareté des autres fonctions accentue fortement la séparation emplois-logements.

4.2 Analyse de corridors types

La section Songjiang-Xuhui de la ligne 9 est un corridor en double déséquilibre à forte fréquentation. L'examen des types de stations et de la distribution des flux de section [Fig.4(a)] montre que la partie Songjiang forme une séquence continue de stations résidentielles ; avec les stations à dépendance résidentielle de Sheshan et Sijing, elle est complètement séparée de la série de stations de bureaux autour du centre d'activités de Caohejing, ce qui engendre un fort déséquilibre des flux. La comparaison bidirectionnelle [Fig.4(b)] montre que les flux de section en sens montant augmentent brutalement à partir de Sheshan et ne commencent à diminuer qu'aux environs de Caohejing ; en sens descendant, les flux chutent à un niveau très faible dès l'aval de Caohejing. Il en résulte, entre Songjiang South Railway Station et Xingzhong Road, des charges de section montantes nettement supérieures aux descendantes, produisant un déséquilibre directionnel. En sens montant, les flux globaux dans la ville nouvelle de Songjiang sont faibles, tandis que les entrées horaires à Sheshan, Dongjing et Jiuting dépassent toutes 5 000 voyageurs ; la distribution crée ainsi une longue traîne marquée dans le tronçon de Songjiang New Town. En sens descendant, la concentration des descentes au centre d'emploi de Caohejing fait tomber les flux de section en aval de Hechuan Road à un niveau très faible, provoquant également une longue traîne.

La branche Hongqiao de la section ouest de la ligne 10 est au contraire un corridor typique en double équilibre. Elle comporte peu de stations résidentielles et rassemble surtout des stations de centre intégré, de centre à dominante tertiaire et de mixité diversifiée [Fig.4(c)]. En sens montant, à l'exception de descentes plus concentrées aux stations South Shaanxi Road et Songyuan Road, les volumes de montées et de descentes restent proches dans la plupart des stations, ce qui confère au profil de section un degré élevé d'équilibre. En outre, l'extrémité périphérique du corridor est le pôle Hongqiao : les montées y sont importantes au point de départ du sens montant, tandis que les voyageurs se rendant jusqu'au terminus dans le sens descendant sont également nombreux. Cette structure améliore fortement l'équilibre bidirectionnel ; aucun des deux sens ne présente de longue traîne à faible flux [Fig.4(d)].

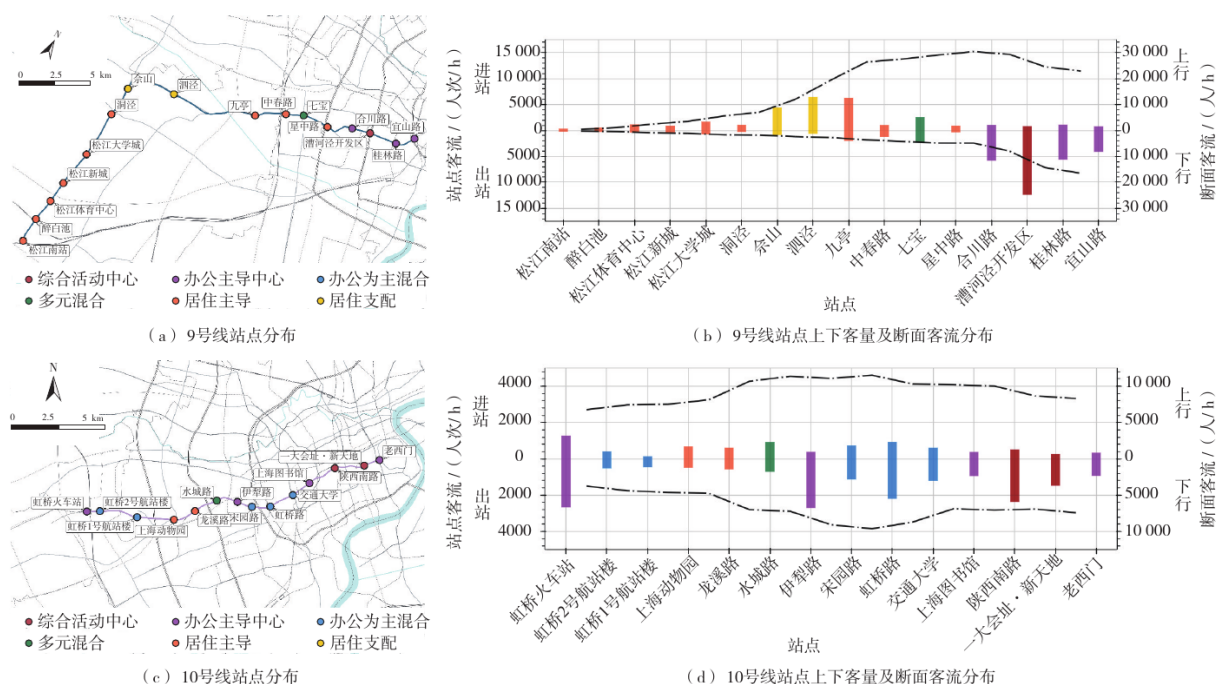


Fig.4 Volumes de montées et descentes par station et distribution des flux de section le long de la section Songjiang-Xuhui de la ligne 9 et de la branche Hongqiao de la section ouest de la ligne 10

5 Conclusions et enseignements

5.1 Principales conclusions

Dans l'ensemble, cette recherche comble un angle mort des connaissances sur les corridors TOD au prisme de l'équilibre des flux de voyageurs. Elle contribue à mettre en place, à l'avenir, une maîtrise et une optimisation spatiales intégrées à l'échelle du corridor et à améliorer la performance du développement global du TOD de corridor.

Premièrement, la méthode d'identification des corridors TOD fondée sur les relations de flux permet de délimiter clairement les tronçons qui les composent et fournit une base pour définir les unités spatiales de planification à l'échelle du corridor. À partir des données OD de stations du réseau ferré de Shanghai, l'algorithme de détection de communautés a permis d'obtenir les corridors TOD. Les corridors radiaux mesurent 25-30 km de long avec une distance interstation moyenne de 1,83 km ; les corridors du centre et de ses abords mesurent 16-20 km avec une distance interstation moyenne de 1,30 km. Dans les deux cas, les rapports de longueur et de distance interstation sont proches de 3:2, ce qui traduit des différences d'échelle d'activité entre secteurs de corridor. Le nombre de stations incluses dans les corridors TOD est proche du nombre de stations effectivement parcourues lors d'un trajet moyen (environ 12), ce qui montre que la méthode de détection de communautés convient à l'identification des corridors TOD ; les périmètres ainsi définis correspondent aux caractéristiques spatiales des déplacements en transport public et renforcent la comparabilité des recherches sur les corridors.

Deuxièmement, la construction d'indicateurs d'équilibre des flux selon les dimensions de profil et de direction permet d'examiner de manière complète la performance d'exploitation et de service des corridors TOD et d'en révéler les régularités spatiales. Le calcul séparé du PEI et du DEI pour les différents corridors, puis leur analyse combinée, montrent des différences marquées d'équilibre des flux ; les valeurs des deux indices sont nettement plus élevées pour les corridors radiaux que pour les deux autres types (Tab.2), ce qui traduit un moindre équilibre. Dans la classification bidimensionnelle

des corridors TOD, les corridors en « double déséquilibre » sont majoritairement des corridors radiaux reliant la ville-centre aux périphéries, tandis que les corridors typiques en « double équilibre » sont surtout des corridors orthogonaux et sinueux.

Troisièmement, les caractéristiques d'équilibre des flux des corridors TOD sont étroitement liées à l'organisation des usages du sol le long des lignes : les corridors de destination présentent des flux relativement équilibrés, tandis que les corridors de navettage affichent plus fortement les phénomènes pendulaires et de longue traîne. Spatialement, les corridors de destination se superposent largement à la Central Activity Zone ; les types de stations y sont variés, avec des caractéristiques polycentriques et de mixité fonctionnelle, et les deux extrémités du corridor disposent de pôles majeurs d'attraction, ce qui garantit le « double équilibre » de profil et de direction. Les corridors de navettage en structure radiale centrée se caractérisent par des chapelets de secteurs résidentiels périphériques et par une domination tertiaire de l'emploi dans le centre, soit une séparation emplois-logements ; la distribution déséquilibrée des flux qui en résulte réduit fortement l'efficacité d'exploitation et la qualité de service des transports publics.

Tab.2 Comparaison des niveaux d'équilibre de profil et d'équilibre directionnel des flux dans les corridors TOD

走廊类型	总数 / 个	上行方向纵断均衡指数		下行方向纵断均衡指数		双向均衡指数		走廊长度 / km		断面数 / 个		
		均值	标准差	均值	标准差	均值	标准差	均值	标准差	均值	标准差	合计
放射	22	0.67	0.42	0.95	0.90	0.52	0.12	24.99	11.65	13.64	3.87	300
横纵	13	0.39	0.45	0.48	0.45	0.35	0.15	16.14	3.33	12.23	2.59	159
弯绕	6	0.49	0.73	0.28	0.36	0.32	0.08	15.84	1.81	12.50	1.87	75

5.2 Enseignements pour la planification

La méthode d'identification des corridors TOD et d'analyse de leurs modèles spatiaux revêt une importance notable pour approfondir la théorie multi-échelle du TOD et guider scientifiquement la planification des corridors TOD. La nouvelle méthode proposée, qui délimite les corridors TOD à partir des fortes connexions entre stations et évalue l'équilibre des flux de voyageurs, fournit un cadre technique intégré pour la planification TOD à l'échelle du corridor et la coordination entre TOD de stations.

Premièrement, le corridor TOD est un support essentiel pour intégrer l'exploitation des transports publics et le développement des stations, et pour mettre en œuvre les objectifs du développement orienté vers les transports collectifs. Améliorer l'exploitation et élever le niveau de service sont des conditions importantes pour accroître l'attractivité du transport public. Seule une planification intégrée de l'usage du sol et des transports à l'échelle régionale permet de maximiser l'efficacité du transport collectif de voyageurs ; cela rejoint la conception régionale originelle du TOD, à savoir un modèle de développement régional orienté vers les transports publics et soutenu conjointement par des TOD de station reliés par le réseau. Le TOD à l'échelle de la station répond difficilement aux objectifs d'amélioration de l'exploitation des lignes ; il prend peu en compte les effets différenciés du développement TOD sur l'exploitation selon que les flux sont saturés ou insuffisants, et néglige souvent la contradiction entre charges de section élevées et capacité du transport public. Intégrer, le long du corridor, les TOD de station jusque-là isolés permet d'améliorer l'équilibre de la distribution des flux de section et de relier plus efficacement le développement foncier à l'objectif stratégique d'augmentation de la fréquentation.

Deuxièmement, il convient de formuler des principes de planification et des stratégies de contrôle prenant le corridor TOD comme unité afin d'optimiser le modèle spatial du corridor. Selon la distribution spatiale des déplacements en transport public, il est possible de distinguer les corridors

ville-centre-périphérie et les corridors internes à la ville-centre. Par rapport au TOD de station, les principes du TOD de corridor doivent mettre l'accent sur les exigences de conception et de planification à l'échelle régionale. À partir de l'expérience des corridors TOD de Shanghai, cet article propose des « principes 5D » du TOD de corridor au prisme de l'équilibre des flux : diversité (diversity), qui dépasse la seule mixité fonctionnelle des secteurs de station et préconise d'alterner, le long du corridor, des stations de types fonctionnels différents, en particulier en insérant des stations de type centralité ; accessibilité aux destinations (destination), qui consiste à disposer le long du corridor des centres d'activités à dominante commerciale, tertiaire, de loisirs ou autres, afin de renforcer l'attractivité de plusieurs secteurs de station et d'équilibrer entrées et sorties ; dépoliarisation (depolarization), qui vise à accroître les fonctions des villes nouvelles et autres nœuds majeurs, à renforcer le niveau des centres publics périphériques et à réduire l'effet de polarisation unidirectionnelle des corridors radiaux ; proximité des emplois (distance to workplace), qui implique de disposer des fonctions d'emploi et d'habitat aux deux extrémités du corridor pour renforcer l'équilibre emplois-logements, en évitant notamment les longues séquences périphériques de stations purement résidentielles ; levier de densité (density leverage), qui ajuste l'intensité de développement aux volumes et au degré d'équilibre des flux dans les différents tronçons, en augmentant de manière appropriée l'intensité des fonctions non résidentielles en périphérie tout en contrôlant raisonnablement la composition fonctionnelle et l'intensité de développement des secteurs situés le long des sections de forte charge, afin qu'elles correspondent à la capacité du transport public.

Troisièmement, il faut renforcer la simulation multi-scénarios des aménagements et politiques de corridors TOD, avec pour objectif l'amélioration de l'équilibre des flux de voyageurs. Cet équilibre contribue non seulement à améliorer l'efficacité d'exploitation des transports publics, mais aussi, en réduisant l'encombrement à bord et en augmentant le confort de voyage, à atteindre l'objectif central du TOD : accroître l'usage des transports publics. L'équilibre des flux résulte de l'interaction intégrée entre usages du sol et transports le long du corridor et à l'échelle régionale ; il est influencé par différents modèles spatiaux et politiques associées, et peut varier entre les tronçons d'une même ligne. Afin de renforcer le fondement scientifique des décisions de planification des corridors TOD, il est urgent d'approfondir la simulation de l'équilibre des flux pour des scénarios multiples, puis de comparer et sélectionner les modèles spatiaux et stratégies de « coordination des TOD de station », afin d'apporter un appui quantitatif au renforcement des fonctions agglomérées des corridors TOD et à l'expression de leurs effets spatiaux.

Remerciements

Les auteurs remercient l'ingénieur senior ZHANG Hanshuang pour ses conseils précieux durant la rédaction de cet article, ainsi que MIAO Sijing et LU Ming pour leur important travail de base dans la collecte bibliographique.

Notes

- ① Pour un graphe G comportant V nœuds et E arêtes, lorsque le nombre d'arêtes E s'approche de V^2 , G est considéré comme un graphe dense (dense graph) ; inversement, lorsque E s'approche de V , G est considéré comme un graphe clairsemé (sparse graph). Comme des flux existent entre presque toutes les paires de stations du rail urbain, presque chaque paire de points est reliée par une arête ; le graphe construit à partir des relations de flux interstations est donc dense. La modularité étant calculée à partir du poids des arêtes, c'est-à-dire des volumes de voyageurs, dans un graphe dense pondéré les communautés générées par l'algorithme tendent à avoir des sommes de poids internes proches, autrement dit des volumes internes totaux proches.

- ② La méthode de détection de communautés de Louvain est un algorithme heuristique fondé sur le principe de maximisation de la modularité. Plus la modularité est élevée, plus les liens internes aux communautés du réseau sont nombreux et plus les liens entre communautés sont rares.
- ③ L'observation des résultats de l'algorithme de détection de communautés montre que certaines communautés discontinues ne peuvent pas être directement définies comme corridors TOD ; un traitement supplémentaire est donc nécessaire afin d'obtenir des corridors de transport continus. Pour une station s appartenant à la communauté a , si la ligne ferroviaire correspondante n'est pas circulaire et si, dans les deux directions le long de cette ligne, il existe des stations s' et s'' appartenant à la communauté b , alors la station s appartient simultanément au corridor TOD A et au corridor TOD B. Les corridors obtenus par cette règle sont continus, mais une station peut appartenir à plusieurs corridors TOD ; par exemple, Beiyangjing Road sur la ligne 6 appartient simultanément aux sections est, centrale et ouest de la ligne 6.
- ④ Parmi les deux extrémités d'un corridor, celle qui est la plus éloignée du centre de Shanghai est définie comme origine s_0 , et celle qui en est la plus proche comme destination s_1 . Le centre de Shanghai correspond à l'origine du système de coordonnées Shanghai 2000, dont l'entité physique est le mât central situé sur le toit du Park Hotel, sur Nanjing West Road, au nord de People's Park. Le déplacement de s_0 vers s_1 (de l'extrémité éloignée vers le centre) est défini comme le sens montant, et le sens inverse comme descendant. Certaines lignes du métro de Shanghai, telle la ligne 11, comportent des branches ; celles-ci étant situées dans des secteurs éloignés du centre, le corridor est alors défini comme possédant deux origines s_{01} et s_{02} , et les deux chemins reliant s_{01} et s_{02} à la destination s_1 sont considérés comme deux branches du même corridor TOD. Les indicateurs d'équilibre des flux sont calculés séparément pour les différentes branches d'un même corridor.

Références

- [1] CALTHORPE P. The next American metropolis: ecology, community, and the American dream [M]. New York: Princeton Architectural Press, 1993.
- [2] City of Denver. Denver TOD typology and strategic plan [EB/OL]. (2006-01-01) [2024-09-20]. <http://ctod.org/pdfs/2006TODStrategicPlanDenver.pdf>.
- [3] City of Austin. History of transit oriented development in Austin [EB/OL]. (2023-08-30) [2024-09-20]. https://www.austintexas.gov/sites/default/files/files/Planning/Urban_Design/History_of_TOD2.pdf.
- [4] Delhi TOD Policy & Regulations Interpretation. Transit oriented development manual [EB/OL]. (2014-10-14) [2024-09-20]. <https://www.wricitiesindia.org/sites/default/files/Delhi-TOD-Policy-Manual.pdf>.
- [5] Central Maryland Transportation Alliance. Central Maryland TOD strategy: a regional action plan for transit-centered communities [EB/OL]. (2009-07) [2024-09-20]. <http://ctod.org/pdfs/2009CentralMarylandTODStrategy.pdf>.
- [6] ARRINGTON G B, THORNE-LYMAN A, et al. Transit-oriented development guidelines [EB/OL]. (2017-05-01) [2024-09-20]. https://www.bart.gov/sites/default/files/docs/BART_TOD-GuidelinesFinal2017_compressed_0.pdf.
- [7] AHMAD S, RASHID M F, SURATMAN R. Readiness of transit oriented development (TOD) concept implementation in Perak's suburban areas [J]. Planning Malaysia: Journal of the Malaysian Institute of Planners, 2022, 20(1): 155-165.

- [8] ITDP (Institute for Transportation and Development Policy). TOD standard 3.0 [EB/OL]. (2017) [2024-09-20]. <https://www.itdp.org/publication/tod-standard/>.
- [9] OLLIVIER G P, GHATE A, BANKIM K, et al. Transit-oriented development implementation resources and tools [EB/OL]. 2nd ed. Washington, D.C.: World Bank Group, [2021-10-25] [2024-09-20]. <http://documents.worldbank.org/curated/en/472011635146925534/Transit-Oriented-Development-Implementation-Resources-and-Tools-Second-Edition>.
- [10] BOARNET M G, COMPIN N S. Le TOD à San Diego : processus progressif de mise en œuvre d'un concept de planification [J]. Urban Planning Overseas, 2000(4): 38-41. (en chinois)
- [11] CHEN Yanping. Une voie fondamentale pour résoudre les problèmes de transport urbain : communautés de transport public et formes d'usage du sol urbain orientées vers le transport public [J]. City Planning Review, 2000(3): 10-14. (en chinois)
- [12] Ministère des Transports de la République populaire de Chine. Avis relatif au lancement du programme national de démonstration des villes de transport public [EB/OL]. (2011-11-09) [2024-09-20]. https://xxgk.mot.gov.cn/2020/jigou/ysfws/202006/t20200623_3315626.html. (en chinois)
- [13] Commission nationale du développement et de la réforme. La NDRC organise un séminaire sur l'innovation des mécanismes d'investissement et de financement du rail urbain [EB/OL]. (2016-09-09) [2024-09-20]. https://www.gov.cn/xinwen/2016-09/09/content_5106798.htm. (en chinois)
- [14] PAN Haixiao, ZHONG Baohua. L'effet de la construction du transport ferroviaire sur les prix immobiliers : le cas de Shanghai [J]. Urban Planning Forum, 2008(2): 62-69. (en chinois)
- [15] ZHENG Siqi, HU Xiaoke, ZHANG Bo, et al. Récupération de la plus-value du rail urbain : de la théorie à la réalité [J]. Urban Development Studies, 2014, 21(2): 35-41. (en chinois)
- [16] LIN Xiongbín, YANG Jiawen, DING Chuan. Vers une mobilité et un logement plus abordables : analyse de planification du développement orienté vers les transports et de ses effets d'équité [J]. City Planning Review, 2018, 42(9): 122-130. (en chinois)
- [17] LIU Quan. Lecture de la forme structurelle de la planification TOD à l'échelle urbaine [J]. Shanghai Urban Planning Review, 2019(6): 72-79. (en chinois)
- [18] LI Wenjing, YANG Jiawen. Stratégies et pratiques d'application du modèle de développement orienté vers les transports (TOD) à Shenzhen [J]. Urban Rapid Rail Transit, 2022, 25(12): 5-12. (en chinois)
- [19] DONG Wei, LIN Xiongbín. Politiques et pratiques localisées du TOD dans les villes chinoises : perspective des instruments de politique publique [J]. Urban Planning Forum, 2024(2): 49-57. (en chinois)
- [20] HUANG Jianzhong, CAO Zhejing, WAN Ge. Développement de la théorie TOD et perspectives de recherche dans le contexte des nouvelles technologies [J]. Urban Planning Forum, 2023(2): 40-46. (en chinois)
- [21] DAI Xiaohui. Le Nouvel Urbanisme comme modèle de développement régional : réflexions à partir de The Next American Metropolis: Ecology, Community, and the American Dream de Peter Calthorpe [J]. Urban Planning Forum, 2000(5): 77-78. (en chinois)
- [22] HICKMAN R, HALL P. Moving the city east: explorations into contextual public transport-orientated development [J]. Planning Practice and Research, 2008, 23(3): 323-339.
- [23] BERNICK M, CERVERO R. Transit villages in the 21st century [M]. New York: McGraw-Hill, 1996.

- [24] EWING R, CERVERO R. Travel and the built environment: a synthesis [J]. *Transportation Research Record*, 2001(1780): 87-114.
- [25] HESS D B, ALMEIDA T M. Impact of proximity to light rail rapid transit on station-area property values in Buffalo, New York [J]. *Urban Studies*, 2007, 44(5-6): 1041-1068.
- [26] CERVERO R, MURAKAMI J. Rail and property development in Hong Kong: experiences and extensions [J]. *Urban Studies*, 2009, 46(10): 2019-2043.
- [27] RENNE J L, TOLFORD T, HAMIDI S, et al. The cost and affordability paradox of transit-oriented development: a comparison of housing and transportation costs across transit-oriented development, hybrid and transit-adjacent development station typologies [J]. *Housing Policy Debate*, 2016, 26(4-5): 819-834.
- [28] LIU L, ZHANG M, XU T. A conceptual framework and implementation tool for land use planning for corridor transit oriented development [J]. *Cities*, 2020, 107(2): 102939.
- [29] Reconnecting America. Station area planning: how to make great transit-oriented places [EB/OL]. (2003-04-08) [2024-09-20]. <http://reconnectingamerica.org/assets/Uploads/tod202.pdf>.
- [30] Center for Transit-Oriented Development. Transit corridors and TOD [EB/OL]. (2010-12-20) [2024-09-20]. <https://ctod.org/portal/node/2161>.
- [31] Ministère du Logement et du Développement urbain-rural. Guidelines for Planning and Design of Areas along Urban Rail Transit [EB/OL]. (2015-12-10) [2024-09-20]. https://www.planning.org.cn/news/uploads/2015/12/566a2efee7aad_1449799422.pdf. (en chinois)
- [32] IBRAEVA A, CORREIA G H A, SILVA C, et al. Transit-oriented development: a review of research achievements and challenges [J]. *Transportation Research Part A: Policy and Practice*, 2020, 132: 110-130.
- [33] ZHANG M. Chapter eleven: corridor transit oriented development: concept, practice, and research needs [M] // CAO X J, DING C, YANG J. *Advances in transport policy and planning*. Academic Press, 2022: 277-299.
- [34] EWING R, CERVERO R. Travel and the built environment [J]. *Journal of the American Planning Association*, 2010, 76(3): 265-294.
- [35] BERTOLINI L. Spatial development patterns and public transport: the application of an analytical model in the Netherlands [J]. *Planning Practice & Research*, 1999, 14(2): 199-210.
- [36] KAMRUZZAMAN M, BAKER D, WASHINGTON S, et al. Advance transit oriented development typology: case study in Brisbane, Australia [J]. *Journal of Transport Geography*, 2014, 34(2): 54-70.
- [37] HIGGINS C D, KANAROGLOU P S. A latent class method for classifying and evaluating the performance of station area transit-oriented development in the Toronto region [J]. *Journal of Transport Geography*, 2016, 52: 61-72.
- [38] CHORUS P, BERTOLINI L. Developing transit-oriented corridors: insights from Tokyo [J]. *International Journal of Sustainable Transportation*, 2016, 10(1-5): 141217133925009.
- [39] FERRELL M C. Measuring the impact of suburban transit-oriented developments on single-family home values [J]. *Transportation Research Part A: Policy and Practice*, 2013.
- [40] PAPAGIANNAKIS A, VITOPOULOU A, YIANNAKOU A. Transit-oriented development in the southern European city of Thessaloniki introducing urban railway: typology and implementation issues [J]. *European Planning Studies*, 2020, 29(1): 117-141.

- [41] WU Jiaorong, LIU Mengyao, XIE Jinhong. Classification des corridors de transport ferroviaire urbain et corrélations avec les caractéristiques de déplacement [J]. Urban Transport of China, 2019, 17(5): 105-113. (en chinois)
- [42] LIU Xiang, CHEN Xiaohong, PAN Haixiao. De l'« intégration station-ville » à l'« intégration par corridor » : cadre théorique du développement TOD et optimisation des modèles sous l'angle de l'espace des flux [J]. Urban Planning Forum, 2024(4): 34-40. (en chinois)
- [43] LIN J J, GAU C C. A TOD planning model to review the regulation of allowable development densities around subway stations [J]. Land Use Policy, 2006, 23(3): 353-360.
- [44] GUZMAN L A, CARDONA S G. Density-oriented public transport corridors: decoding their influence on BRT ridership at station-level and time-slot in Bogotá [J]. Cities, 2021, 110: 103071.
- [45] CUI Xu, LIANG Pengpeng, YU Bingjie, et al. Recherche sur la théorie de planification et de conception TOD [J]. Urban Rapid Rail Transit, 2021, 34(5): 18-25. (en chinois)
- [46] RU Xianghui, YANG Zhigang, ZHENG Meng, et al. Stratégies de développement coordonné entre transport ferroviaire et espace urbain dans les mégapoles : le cas de Beijing [J]. Urban Transport of China, 2022, 20(2): 21-27. (en chinois)

Révisé : novembre 2024
(Cet article a été traduit avec l'aide de l'IA.)