

Adéquation précise entre l'offre et la demande pour l'exploitation ferroviaire de type transport collectif dans les villes nouvelles périphériques, sous l'angle du bassin de navettage

— Le cas de la ligne Chengdu–Pujiang

XU Lei, LIU Bing, WANG Fangkai

Résumé. Le développement des villes nouvelles périphériques constitue un levier important de la stratégie chinoise de nouvelle urbanisation. Afin de faciliter leur intégration au bassin de navettage de la ville-centre grâce à une exploitation ferroviaire de type transport collectif et d'améliorer le niveau de service, cet article propose un cadre d'évaluation et de formulation stratégique fondé sur l'« adéquation précise entre l'offre et la demande ». L'étude empirique porte sur la ligne Chengdu–Pujiang, qui relie le centre de Chengdu à la ville nouvelle périphérique de Chongzhou. Une analyse croisée de données multisources permet d'abord d'identifier le volume total des déplacements pendulaires et les modes utilisés entre Chongzhou et le centre de Chengdu. Les caractéristiques fines des navetteurs ferroviaires sont ensuite examinées, puis l'adéquation de l'offre est évaluée selon quatre dimensions : horaires, capacité, fonctionnement de la gare et rabattement. L'analyse met en évidence plusieurs inadéquations : nombre insuffisant de services en pointe, faible flexibilité des compositions, procédures de contrôle et de billetterie complexes et absence de bus de rabattement nocturnes. Dans une perspective d'optimisation de l'ensemble de la chaîne de déplacement, l'article propose des stratégies de mise en correspondance précise de l'offre et de la demande, puis résume quatre orientations : cibler la demande, améliorer l'efficacité de toute la chaîne, assurer une adaptation dynamique et innover pour élever la qualité. La recherche fournit de nouveaux éléments méthodologiques pour la construction des bassins de navettage et l'amélioration de l'exploitation ferroviaire de type transport collectif dans les grandes métropoles.

Mots-clés : exploitation ferroviaire de type transport collectif ; adéquation offre-demande ; bassin de navettage ; ville nouvelle périphérique ; ligne Chengdu–Pujiang.

Classification de la Bibliothèque chinoise : TU984. Code du document : A. DOI : 10.16361/j.upf.202405008. Numéro d'article : 1000-3363 (2024) 05-0055-09.

* Projet général de la Fondation nationale des sciences naturelles de Chine : « Formes spatiales et stratégies d'optimisation des corridors TOD ferroviaires selon une perspective d'équilibrage des flux — le cas de la région métropolitaine de Shanghai » (n° 52178052) ; projet 2024 de coopération université-industrie du ministère de l'Éducation porté par Shanghai Tongji Urban Planning and Design Institute Co., Ltd. : « Étude de cas sur l'élaboration de plans de transport public au moyen des technologies numériques » (n° 231100155192902).

1 Besoins liés aux bassins de navettage et à l'exploitation ferroviaire de type transport collectif dans les villes nouvelles périphériques

1.1 Le bassin de navettage ferroviaire d'une heure, appui majeur aux régions métropolitaines modernes

Une région métropolitaine est une forme spatiale d'urbanisation structurée, au sein d'une agglomération, autour d'une très grande ville ou d'une grande ville dotée d'un fort pouvoir d'entraînement, et dont le périmètre de base correspond à un bassin de navettage d'une heure^①. Les villes nouvelles périphériques en constituent une composante majeure. Elles jouent un rôle important dans l'amélioration

de la stratégie chinoise d'urbanisation et dans la promotion d'un développement polycentrique et organisé en groupes. Durant le XIV^e plan quinquennal, Pékin, Shanghai et Chengdu ont notamment publié des politiques de soutien à leur développement⁽²⁾.

Ces dernières années, la construction des bassins de navetage comme instrument d'orientation du développement métropolitain et des villes nouvelles est devenue un thème de recherche important [1-2]. Les travaux sur leur périmètre et les caractéristiques spatio-temporelles des activités se sont multipliés. Chai Yanwei et al. [3] distinguent trois modes d'organisation : centre-ville, proche périphérie et périphérie lointaine. Guo Liang et al. [4] utilisent des données mobiles massives pour identifier le bassin de navetage du centre de Wuhan et en mesurer les strates, la composition interne et la morphologie externe. Wu Yimin et al. [5] identifient, au moyen du taux de navetage, les principaux districts autour de Pékin intégrés à son bassin et proposent des corridors, des sous-groupes et des modes de navetage transfrontalier. Parallèlement, les recherches sur la « région métropolitaine sur rail » se sont fortement développées, principalement autour des relations entre transports urbains sur rail et région métropolitaine [6-9]. Des travaux ont également porté sur le rôle du chemin de fer ; Wang Deli [10] propose, selon quatre dimensions — organisation spatiale, soutien des transports, orientation fonctionnelle et mécanismes de garantie —, des mesures pour que les lignes régionales et suburbaines structurent le bassin de navetage d'une heure des grandes villes.

1.2 L'exploitation ferroviaire de type transport collectif, mesure clé pour intégrer les villes nouvelles au réseau spatial régional

Pour favoriser efficacement la concentration de population et de fonctions dans les villes nouvelles et leur intégration au bassin de navetage du centre urbain, la construction d'un système de transport commode et efficace est essentielle [11]. En février 2019, les Orientations de la Commission nationale du développement et de la réforme sur la formation et le développement des régions métropolitaines modernes ont demandé de « construire des bassins de navetage structurés par le rail, développer fortement les chemins de fer régionaux et suburbains et utiliser en priorité les ressources existantes pour exploiter des trains régionaux et suburbains ». En décembre 2021, le Plan de développement du système moderne de transport intégré pour le XIV^e plan quinquennal a précisé qu'il fallait « mobiliser activement les grandes lignes et les lignes interurbaines pour les services pendulaires, augmenter le nombre d'arrêts et leur fréquence dans les grands pôles de flux, encourager une exploitation de type transport collectif aux heures de pointe et améliorer la qualité du service ».

Depuis le XVIII^e Congrès du Parti communiste chinois, la croissance des agglomérations et des régions métropolitaines a fortement accru la demande de navetage à plusieurs échelles. L'exploitation ferroviaire de type transport collectif reçoit dès lors une attention croissante et a donné lieu à de nombreuses pratiques dans les régions Pékin–Tianjin–Hebei, du delta du Yangtsé, de la Grande Baie Guangdong–Hong Kong–Macao et de Chengdu–Chongqing (tableau 1). Historiquement, sa fonction est passée d'un service interurbain point à point destiné aux voyages d'affaires à un service pendulaire multiscalaire et multifonctionnel.

En augmentant au maximum la densité des trains, en simplifiant l'achat des titres et en fluidifiant l'embarquement, ce mode d'exploitation vise une expérience proche de celle du transport urbain — « arriver et partir presque immédiatement » — et renforce fortement l'attractivité du rail. Pour une ville nouvelle périphérique, il permet une liaison efficace avec le centre sans investissement massif dans de nouvelles infrastructures, tout en offrant aux navetteurs ponctualité et confort. La ligne Jinshan de Shanghai, première ligne chinoise exploitée selon ce principe pour relier une ville nouvelle périphérique au centre, est

passée, durant ses dix premières années depuis 2012, de 15 à 37,5 paires de trains par jour et de 13 000 à 32 000 voyageurs quotidiens⁽³⁾.

Tableau 1. Projets chinois existants d'exploitation ferroviaire de type transport collectif et classification

Région	Année	Projet	Niveau spatial desservi	Motif principal
Pékin– Tianjin– Hebei	2008	Trains interurbains Pékin–Tianjin	Entre villes-centres	Affaires
Pékin– Tianjin– Hebei	2023	Boucle nord-est du chemin de fer suburbain de Pékin	Centre de la ville-centre – ville nouvelle périphérique	Navettage
Delta du Yangtsé	2012	Ligne Jinshan de Shanghai	Centre de la ville-centre – ville nouvelle périphérique	Navettage
Delta du Yangtsé	2017	Trains interurbains Ningbo–Yuyao	Centre de la ville-centre – ville nouvelle périphérique	Navettage
Delta du Yangtsé	2022	Ligne Lianyungang– Huai'an–Yangzhou– Zhenjiang	Entre villes périphériques	Affaires
Grande Baie Guangdong– Hong Kong– Macao	2021	Interurbains Guangzhou–Qingyuan et boucle est de Guangzhou	Ville-centre – ville périphérique	Affaires
Grande Baie Guangdong– Hong Kong– Macao	2022	LGV Ganzhou– Shenzhen	Ville-centre – ville périphérique	Affaires
Chengdu– Chongqing	2010	Ligne Chengdu– Dujiangyan	Centre de la ville-centre – ville nouvelle périphérique	Navettage
Chengdu– Chongqing	2017	Exploitation de type transport collectif Chengdu–Deyang	Ville-centre – ville périphérique	Affaires
Chengdu– Chongqing	2022	Boucle nord-ouest de Chongqing	Entre villes nouvelles périphériques	Navettage
Autres régions	2021	Interurbain Changsha– Zhuzhou–Xiangtan	Ville-centre – ville périphérique	Affaires
Autres régions	2021	Interurbain Zhengzhou–Kaifeng– Jiaozuo	Ville-centre – ville périphérique	Affaires
Autres régions	2023	Ligne touristique exploitée en mode collectif sur la boucle ouest de Hainan	Ville-centre – ville périphérique	Tourisme

1.3 Les services ferroviaires des villes nouvelles doivent améliorer leur adéquation à la demande

Avec le développement des technologies d'intégration des réseaux ferroviaires, l'exploitation de type transport collectif possède un fort potentiel pour intégrer les villes nouvelles périphériques au bassin de navettage de la ville-centre — processus désigné ci-après comme « intégration au bassin ». Les recherches existantes peuvent être réparties entre demande et offre. Du côté de la demande, elles mobilisent les matrices origine-destination ferroviaires [12], la signalisation mobile [13] et les enquêtes voyageurs [14] pour caractériser les navetteurs, segmenter les groupes et prévoir les flux. Du côté de l'offre, elles identifient les goulets d'étranglement de chaque étape et proposent d'améliorer le contrôle de sécurité et la validation [15], l'organisation des missions [16], la tarification [17] ou le modèle de gestion [18].

Ces dernières années, l'hétérogénéité croissante des navetteurs intégrés au bassin [19] a conduit à évaluer les facteurs qui influencent leur demande [20-21] et à adapter plus précisément les services. Trois dimensions ont été particulièrement étudiées. Premièrement, l'adéquation « gare à gare », au moyen d'horaires et de plans d'arrêt optimisés pour satisfaire la demande de chaque station [22]. Deuxièmement, l'adéquation entre domicile ou lieu de travail et gare, en améliorant l'accessibilité des rabattements à partir de la distribution des emplois et des logements [23]. Troisièmement, l'adéquation du confort, car la sur-occupation dégrade le bien-être [24] et limite l'usage productif du temps de trajet [25].

Dans un contexte de croissance des déplacements pendulaires métropolitains, la clé est donc d'identifier avec précision la demande d'intégration au bassin et de fournir une offre ferroviaire correspondante. Les travaux évoluent d'une analyse séparée de l'offre ou de la demande vers leur coordination, mais ne disposent toujours pas d'un cadre complet d'évaluation de l'adéquation. Il subsiste ainsi un décalage entre l'analyse de la demande et l'élaboration des stratégies. Les contraintes rigides — heures de travail et durée maximale acceptable d'un trajet simple — restent insuffisamment prises en compte, tout comme le confort. Une adaptation véritablement précise est donc difficile.

Dans ce contexte, l'étude porte sur la ligne Chengdu–Pujiang, qui relie le centre de Chengdu à la ville nouvelle de Chongzhou. À partir du point de vue du navettage d'intégration au bassin, elle utilise des données multisources pour analyser l'adéquation précise entre demande pendulaire et offre de service, puis formule des mesures ciblées afin de contribuer à la recherche et à la pratique chinoises.

2 Méthodes de recherche et sources de données

2.1 Présentation du cas

En 2023, le comité municipal du Parti et le gouvernement de Chengdu ont demandé d'« accélérer la construction de bassins de navettage efficaces pour les villes nouvelles périphériques ». Chongzhou, l'une des villes nouvelles prioritaires, doit « améliorer rapidement le niveau d'exploitation de type transport collectif de la ligne Chengdu–Pujiang afin de faciliter les trajets pendulaires avec le centre de Chengdu ». Située à l'ouest du territoire municipal, Chongzhou est distante d'environ 37 km à vol d'oiseau de la place Tianfu et compte 780 000 habitants permanents.

La ligne Chengdu–Pujiang est la seule liaison ferroviaire entre Chongzhou et le centre de Chengdu. Mise en service en 2018, elle est conçue pour 200 km/h, mesure 99 km et dessert 11 gares (figure 1). Depuis son raccordement en 2022 à la boucle du nœud ferroviaire de Chengdu, Chongzhou est directement reliée aux gares Chengdu South et Chengdu East. Par rapport au modèle ferroviaire traditionnel, certaines installations ont déjà été adaptées à un fonctionnement de type transport collectif — portes palières et rames CRH6A notamment —, mais l'adéquation précise à la demande pendulaire reste perfectible.



Figure 1. Schéma de la ligne Chengdu–Pujiang

2.2 Délimitation de l'aire d'étude

L'aire d'étude est délimitée à partir de l'isochrone ferroviaire d'une heure depuis la gare de Chongzhou④ (figure 2), puis ajustée selon les limites administratives et la localisation des emplois. Le lieu de résidence est le centre urbain de Chongzhou ; les lieux de travail comprennent les cinq districts centraux de Chengdu — Jinjiang, Qingyang, Jinniu, Wuhou et Chenghua — ainsi que la zone de haute technologie et le nouveau district de Tianfu (figure 3).

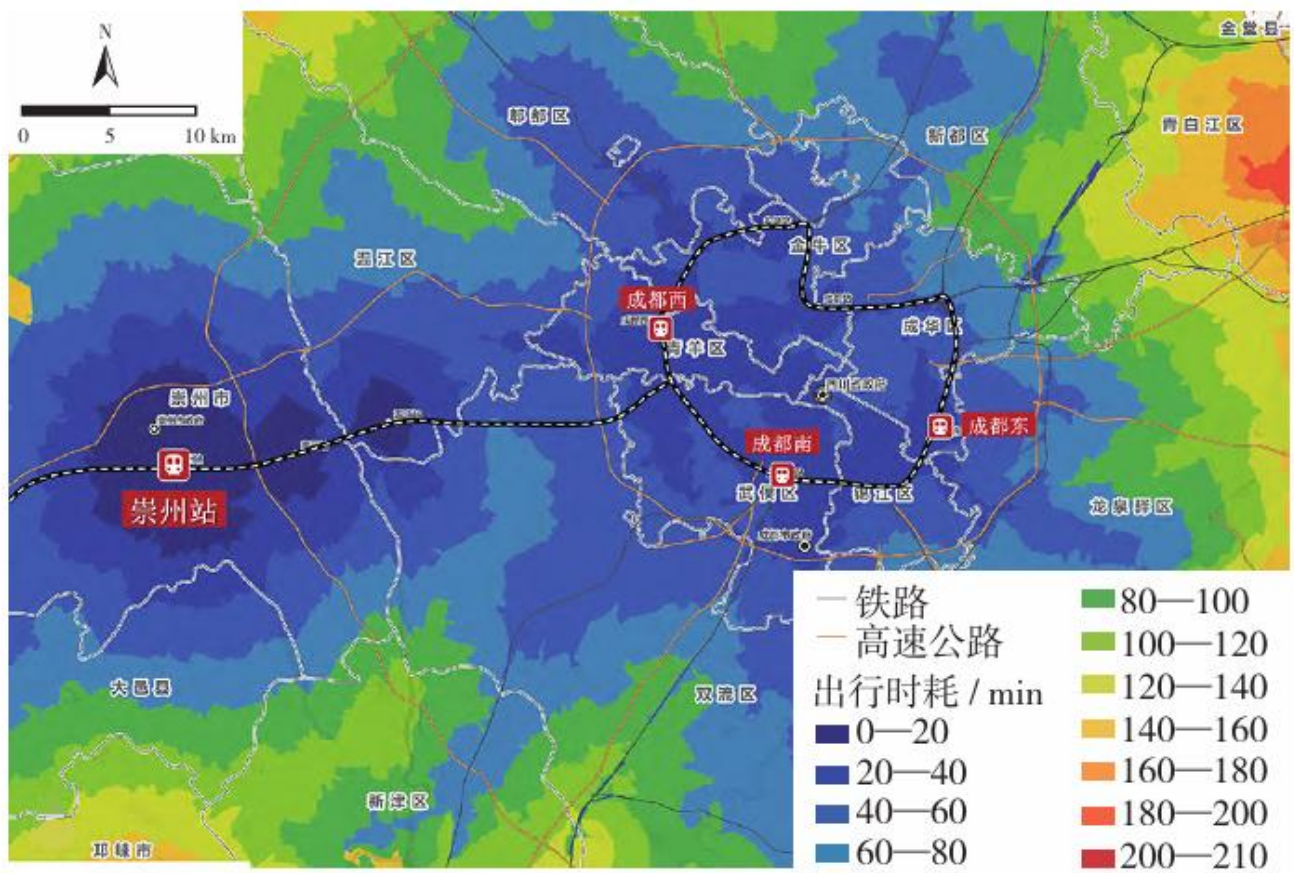


Figure 2. Isochrone ferroviaire depuis la gare de Chongzhou

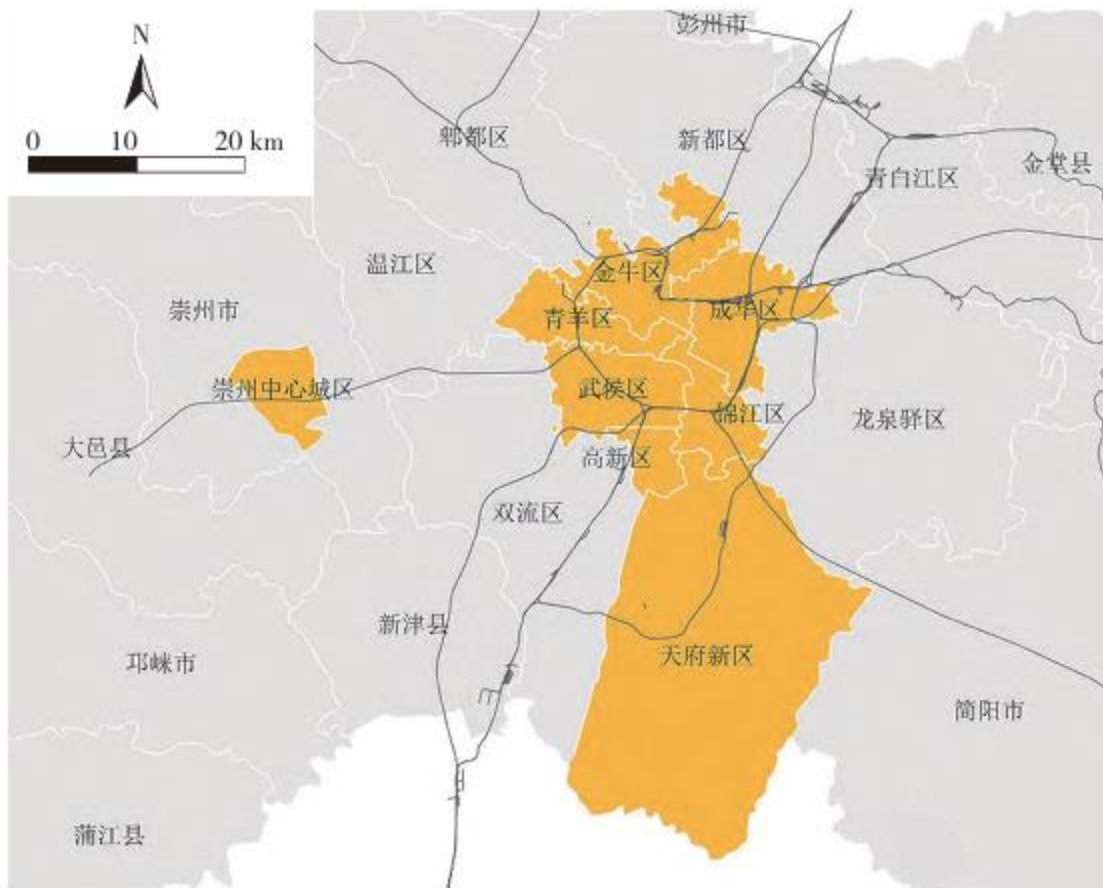


Figure 3. Délimitation de l'aire d'étude

2.3 Méthode

La première étape consiste, par données multisources et profils de population, à identifier le volume des flux entre Chongzhou et le centre de Chengdu, les modes utilisés et les préférences des navetteurs ferroviaires. La deuxième combine horaires et données de vente pour analyser l'adéquation précise entre offre et demande selon quatre dimensions : horaires, capacité, gare et rabattement. Les résultats quantitatifs servent ensuite de base à la formulation des stratégies. La démarche est présentée figure 4.

Compte tenu de la chaîne complète d'un déplacement pendulaire, quatre indicateurs sont proposés pour évaluer le niveau d'exploitation et la satisfaction des besoins.

(1) Adéquation horaire. L'analyse porte sur tous les trains qui s'arrêtent ou traversent Chongzhou et identifie trois catégories à potentiel pendulaire : les trains qui s'arrêtent mais dont l'horaire ne permet pas d'arriver à l'heure au travail, pour lesquels il convient d'ajuster l'arrêt ; les trains qui ne s'arrêtent pas mais dont le passage à Chongzhou et l'arrivée dans le centre conviennent aux navetteurs, pour lesquels un arrêt peut être ajouté ; et les trains qui s'arrêtent à Chongzhou mais desservent trop peu Chengdu West, South ou East, pour lesquels il convient d'augmenter les arrêts centraux.

(2) Adéquation de capacité. Lorsqu'un train répond aux besoins de temps et d'arrêt, son niveau de charge après le départ de Chongzhou est analysé afin de vérifier si la capacité est suffisante. Deux indicateurs sont utilisés :

$$\eta_1 = M / S, \quad \eta_2 = M / N$$

η_1 est le taux d'occupation des sièges : une valeur inférieure à 1 signifie qu'il reste des sièges ; une valeur au moins égale à 1 indique qu'ils sont tous occupés et que l'inconfort augmente avec le ratio. η_2 est le taux de charge : une valeur inférieure à 1 indique une capacité résiduelle ; une valeur au moins égale à 1 signifie que la charge dépasse le niveau de service admis. M est le nombre de voyageurs, S le nombre de sièges et N le nombre de voyageurs correspondant au niveau de service acceptable, fixé à 70 % de la capacité nominale selon les standards du transport public urbain^⑤.

(3) Adéquation de la gare. Le temps nécessaire à toutes les étapes d'entrée et de sortie de Chongzhou est décomposé afin d'identifier les phases prioritaires de réduction : du point de rabattement aux portillons et des portillons au quai. La qualité spatiale et les services associés sont également examinés.

(4) Adéquation du rabattement. L'analyse porte sur les bus ordinaires reliés à Chongzhou, en particulier sur la correspondance horaire avec les trains. L'indicateur est l'écart entre l'arrivée du bus et le départ du train, ou entre l'arrivée du train et le départ du bus. Une bonne adéquation suppose que cet écart couvre le temps nécessaire aux procédures d'entrée ou de sortie tout en conservant une marge ; un écart trop grand ou trop faible indique une inadéquation.

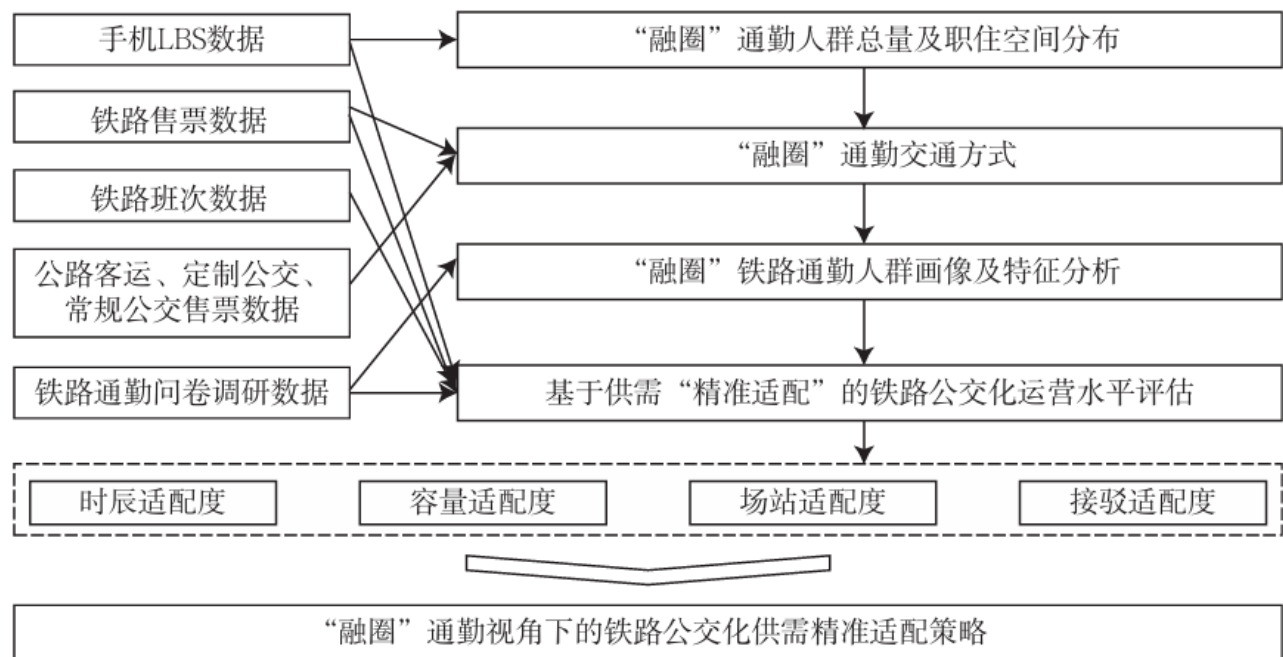


Figure 4. Schéma méthodologique de la recherche

2.4 Sources de données

L'analyse combine données mobiles, données d'exploitation des transports et enquête par questionnaire. Les données de localisation mobile (location-based services, LBS), fournies par un opérateur, couvrent la population permanente et flottante active dans le territoire de Chengdu en avril 2023. Les données de billetterie ferroviaire, fournies par l'administration du rail, comprennent les matrices origine-destination de toutes les gares de la ligne ainsi que les flux d'entrée et de sortie. Les données de billetterie des autocars et des navettes spécialisées proviennent des opérateurs ; les flux de rabattement bus-métro proviennent de l'entreprise de transport public. Ces quatre ensembles couvrent la période du 10 au 16 avril 2023. Enfin, une enquête auprès des navetteurs ferroviaires a été organisée en ligne et par QR code à la gare de Chongzhou pendant les pointes du matin et du soir ; 2 913 questionnaires valides ont été recueillis.

3 Analyse de la demande de déplacements ferroviaires de type transport collectif pour l'intégration de Chongzhou au bassin

3.1 Volume total et structure modale

À partir des données LBS, les personnes effectuant des déplacements réguliers entre des origines et destinations stables les jours ouvrables sont identifiées comme navetteurs. Leur lieu de séjour diurne est considéré comme lieu de travail et leur lieu de séjour nocturne comme domicile. Une extrapolation fondée sur le taux de pénétration des données mobiles permet d'estimer l'échelle réelle.

Les déplacements aller-retour entre Chongzhou et le centre de Chengdu atteignent environ 28 100 voyages par jour ouvrable. Le volume de navettage d'intégration au bassin dans le sens Chongzhou-centre le matin (7 h–9 h) et centre–Chongzhou le soir (17 h–19 h) s'élève à 9 633 voyages par jour, soit environ 4 000 à 5 000 personnes. Par destination, le secteur de Chengdu West, proche de Chongzhou, représente 48 % ; celui de Chengdu South, à forte concentration d'emplois tertiaires et commerciaux, 35 % ; Chengdu East, plus éloigné et moins concentré en emplois, seulement 17 %.

Cinq modes sont utilisés : voiture particulière, train, navette spécialisée, autocar routier et bus ordinaire avec correspondance métro. À l'exception de la voiture, les quatre autres relèvent du transport collectif. L'estimation des volumes donne une structure dominée par l'automobile, complétée par le train et plusieurs modes collectifs : la voiture représente 63 %, le train seulement 17,1 %, ce qui traduit une faible compétitivité relative (tableau 2).

Tableau 2. Volume et structure modale des navettes d'intégration au bassin de Chongzhou les jours ouvrables

Mode	Voyages aller-retour quotidiens Chongzhou-centre de Chengdu	Voyages pendulaires d'intégration au bassin	Part modale (%)
Train	4 854	1 646	17,1
Bus ordinaire + métro	4 781	1 320	13,7
Autocar routier	73	28	0,3
Navette spécialisée	910	572	5,9
Voiture particulière	17 442	6 066	63,0
Total	28 060	9 633	100,0

Les destinations diffèrent fortement selon le mode. Le train et la voiture couvrent une aire plus vaste dans une durée acceptable et offrent davantage de choix d'emploi ; ils se dirigent donc plus souvent vers Chengdu South, qui concentre les postes, avec respectivement 48 % et 44 %. Les autocars et navettes sont plus dépendants de leurs itinéraires ; le bus avec métro, moins rapide, est surtout utilisé vers Chengdu West (figure 5).

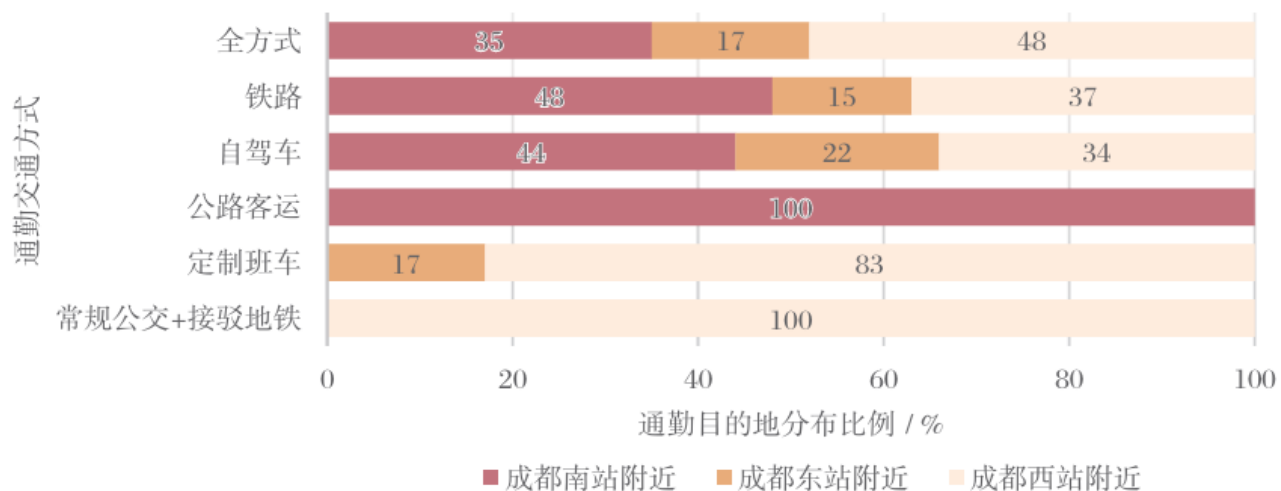


Figure 5. Répartition des destinations pendulaires de Chongzhou et différences selon le mode les jours ouvrables

3.2 Caractéristiques des navetteurs ferroviaires de Chongzhou

Les caractéristiques sont analysées à partir de l'enquête. Le profil comprend la profession, les horaires de travail et la durée maximale acceptable d'un trajet simple (figure 6). Le rabattement comprend le mode et le temps entre le domicile et la gare, puis entre la gare d'arrivée et le lieu de travail (figure 7).

3.2.1 Profil : emploi stable, horaires fixes et acceptation d'un trajet d'une heure

Les navetteurs ferroviaires sont principalement employés par des administrations et par des entreprises ou institutions publiques ; ces deux groupes représentent 74 %. Les horaires sont relativement fixes : l'arrivée au travail se situe surtout entre 8 h et 9 h, et le départ entre 17 h et 18 h. Plus de 85 % acceptent une durée maximale inférieure à 60 minutes pour un trajet simple.

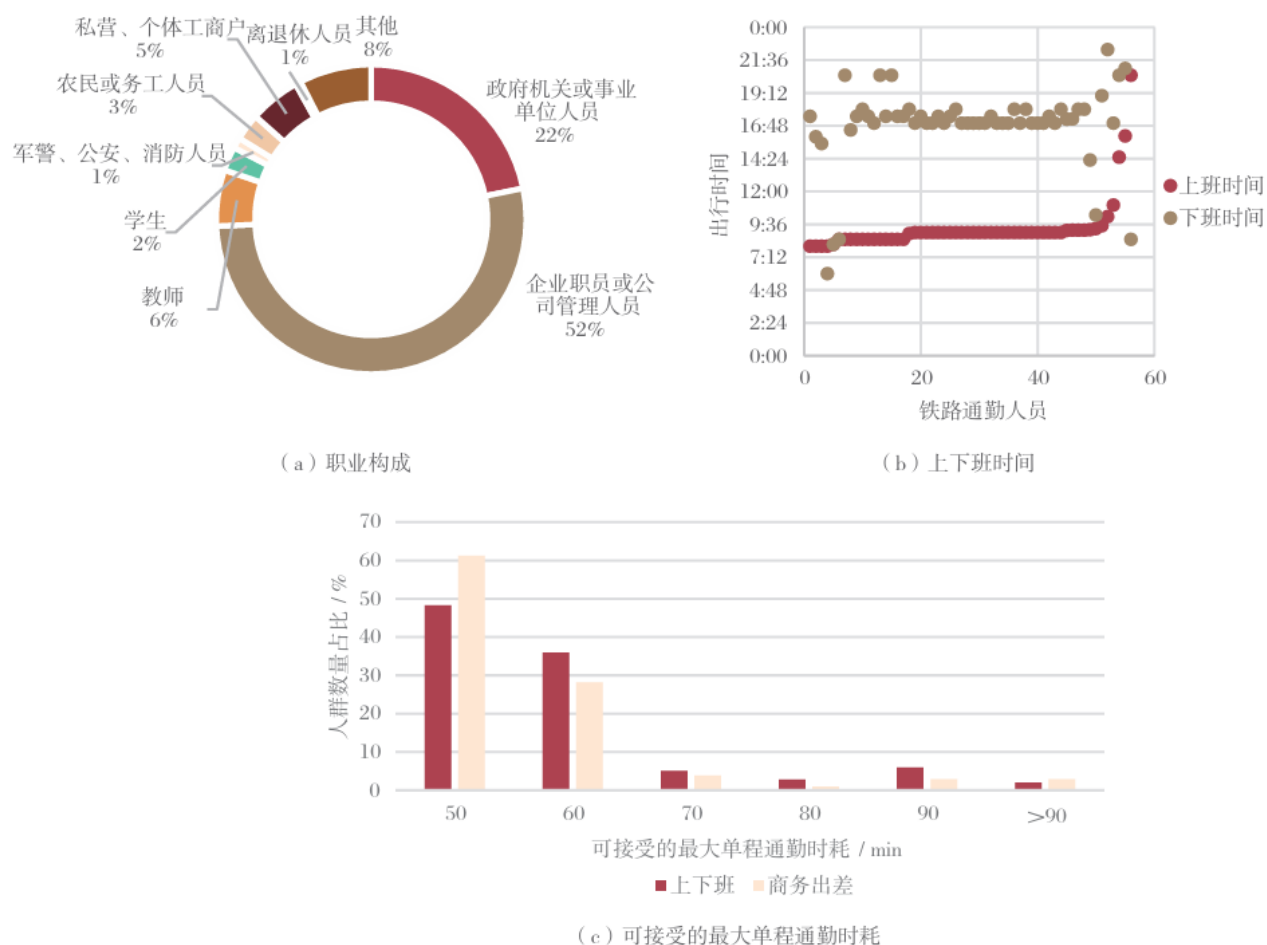


Figure 6. Profil des navetteurs ferroviaires intégrés au bassin

3.2.2 Caractéristiques des rabattements

Modes de rabattement. Chongzhou ne disposant pas de métro, l'accès à la gare repose principalement sur les modes motorisés individuels — taxi, voiture réservée par application ou voiture privée — qui représentent 51,6 %. Le bus ordinaire ne représente que 16,1 %. Aux trois gares du centre de Chengdu, le métro domine avec 55,3 %.

Durée. Le rabattement moyen est de 18 minutes à Chongzhou et de 25 minutes dans le centre. La part des trajets de moins de 20 minutes est respectivement de 66,2 % et 40,5 %. Selon les horaires de la plateforme 12306, les temps à bord entre Chongzhou et Chengdu West, South et East sont de 18, 22 et 34 minutes. Au regard de la durée totale souhaitée — moins de 60 minutes —, le rabattement reste à optimiser.

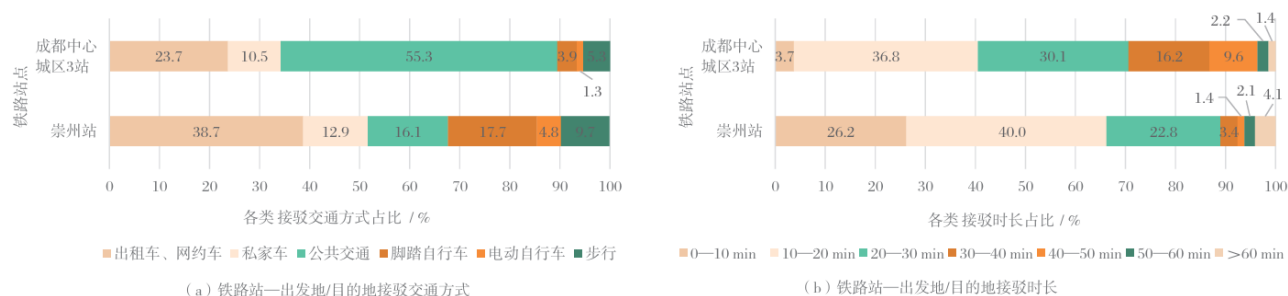


Figure 7. Caractéristiques du rabattement aux gares

3.3 Évaluation de l'adéquation de l'exploitation

3.3.1 Peu de trains adaptés au navettage et une densité faible

L'analyse des trains s'arrêtant à Chongzhou pendant les pointes met en évidence des « premiers trains trop tardifs et des trains du soir trop espacés » (tableau 3). Le matin, le premier départ vers le centre est C3382 (7 h 58 Chongzhou – 8 h 20 Chengdu South), insuffisant pour les personnes devant être au travail avant 8 h 30. Le soir, aucun train ne circule entre D6194 (18 h 42 Chengdu East, 18 h 59 Chengdu South – 19 h 22 Chongzhou) et C3372 (20 h 15 Chengdu South – 20 h 39 Chongzhou), ce qui ne convient pas aux personnes quittant leur travail entre 19 h et 20 h.

Le nombre de services adaptés le matin est également faible : un seul vers Chengdu West et aucun vers Chengdu East. La ligne exploite actuellement 100 trains par jour, dont seulement 46 s'arrêtent à Chongzhou. Il existe donc une marge importante pour ajouter des arrêts et renforcer les liaisons avec les trois gares centrales.

Tableau 3. Trains s'arrêtant à Chongzhou et adaptés aux navettes d'intégration au bassin

Objet	Train	Départ	Arrivée
Travail du matin	C3382	7 h 58, Chongzhou	8 h 20, Chengdu South
Travail du matin	C6602	8 h 19, Chongzhou	8 h 37, Chengdu West
Travail du matin	C3384	8 h 41, Chongzhou	9 h 03, Chengdu South
Retour du soir	C3366	17 h 32, Chengdu South	17 h 55, Chongzhou
Retour du soir	C6637	18 h 01, Chengdu West	18 h 22, Chongzhou
Retour du soir	D6194	18 h 42, Chengdu East ; 18 h 59, Chengdu South	19 h 22, Chongzhou
Retour du soir	C3372	20 h 15, Chengdu South	20 h 39, Chongzhou
Retour du soir	C3462	21 h 05, Chengdu East ; 21 h 25, Chengdu South	21 h 49, Chongzhou
Retour du soir	C6643	21 h 22, Chengdu West	21 h 38, Chongzhou
Retour du soir	C3376	22 h 05, Chengdu South	22 h 29, Chongzhou

3.3.2 Une composition des trains peu flexible face aux flux

La plupart des trains adaptés sont composés de quatre voitures ; seul D6194 en compte huit (tableau 4). Les données de vente montrent que les taux de charge restent sous le maximum, mais dépassent 80 % pour certains trains, ce qui génère une forte densité. Les taux d'occupation des sièges dépassent généralement 100 %, indiquant que la plupart des navetteurs montés à Chongzhou voyagent debout.

Le matin vers le centre, les trois trains présentent avant Chongzhou un taux de charge inférieur à 60 %. C3382 conserve même quelques sièges. Après la montée des voyageurs à Chongzhou, les taux d'occupation des sièges atteignent environ 150 % et les taux de charge 75–80 %, ce qui traduit une forte congestion.

Tableau 4. Analyse de la capacité résiduelle des trains adaptés au navetage

Sens	Train	Composition	Voyageurs avant Chongzhou	Voyageurs après Chongzhou	Taux de charge avant (%)	Taux de charge après (%)	Occupation des sièges avant (%)	Occupation des sièges après (%)
Matin vers le travail	C3382	4	149	384	31	80	60	155
Matin vers le travail	C6602	4	261	371	54	77	105	150
Matin vers le travail	C3384	4	278	360	58	75	112	145
Soir vers le domicile	C3366	4	430	267	89	55	173	108
Soir vers le domicile	C6637	4	306	167	64	35	123	67
Soir vers le domicile	D6194	8	517	186	54	19	104	38
Soir vers le domicile	C3372	4	193	87	40	18	78	35
Soir vers le domicile	C3462	4	404	282	84	59	163	114
Soir vers le domicile	C6643	4	207	183	43	38	83	74
Soir vers le domicile	C3376	4	230	175	48	36	93	71

Note : les rames de quatre et huit voitures disposent respectivement de 248 et 496 sièges, d'une capacité maximale de 688 et 1 376 voyageurs et d'une capacité correspondant au niveau de service acceptable de 481 et 963 voyageurs.

3.3.3 Des procédures de sécurité et de validation complexes qui allongent le temps en gare

La décomposition des temps nécessaires à l’entrée et à la sortie (figure 8) montre que la sortie est efficace, environ quatre minutes. L’entrée nécessite environ onze minutes. Le principal goulet d’étranglement vient de la fenêtre d’accès au quai, strictement limitée entre onze et cinq minutes avant le départ : les voyageurs se concentrent brièvement à la validation, ce qui dégrade fortement la fluidité. La séparation physique du contrôle de sécurité et de la validation accroît aussi la durée et la complexité.

Les services de gare sont par ailleurs incomplets. Ils ne proposent pas suffisamment de lieux de travail, de lecture, de restauration légère ou de commerce aux voyageurs disposant d’un temps d’attente, et répondent mal à la demande de services personnalisés et de qualité.

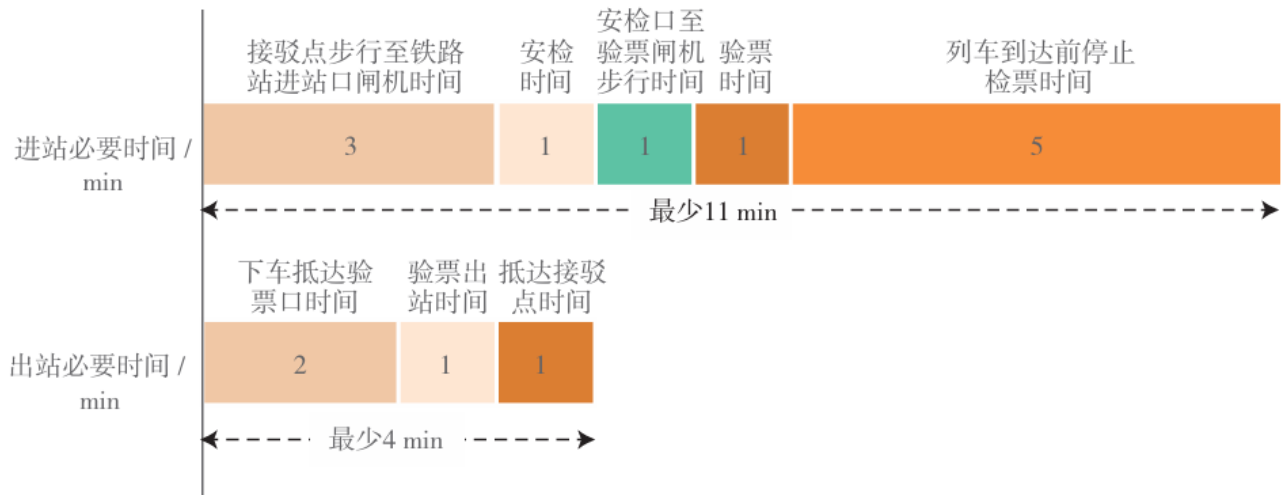


Figure 8. Décomposition du temps nécessaire à l’entrée et à la sortie de la gare de Chongzhou

3.3.4 Absence de bus ordinaires en soirée

Trente-quatre lignes de bus desservent actuellement la gare, mais leur dernier départ est antérieur à 18 h 30. Les voyageurs des trains plus tardifs ne disposent donc d’aucune correspondance. Les données de billetterie indiquent 917 voyageurs à l’arrivée ou au départ après 18 h 30, dont 297 départs et 620 arrivées. En appliquant la part actuelle du bus, 16 %, la demande nocturne est estimée à environ 150 voyages (tableau 5), ce qui justifie l’ajout de services.

Tableau 5. Demande de rabattement par bus ordinaire en soirée à la gare de Chongzhou

Sens	Train	Heure de départ ou d’arrivée à Chongzhou	Voyageurs au départ / à l’arrivée	Demande de rabattement par bus
Chongzhou vers le centre	C3418	19 h 00	96	15
Chongzhou vers le centre	C3422	19 h 54	69	11
Chongzhou vers le centre	C6686	20 h 22	81	13
Chongzhou vers le centre	C3426	21 h 32	51	8

Sens	Train	Heure de départ ou d'arrivée à Chongzhou	Voyageurs au départ / à l'arrivée	Demande de rabattement par bus
Centre vers Chongzhou	D6195	19 h 22	321	51
Centre vers Chongzhou	C3372	20 h 39	127	20
Centre vers Chongzhou	C6643	21 h 38	72	12
Centre vers Chongzhou	C3462	21 h 49	55	9
Centre vers Chongzhou	C3376	22 h 29	45	7
Total	—	—	917	147

4 Stratégie d'adéquation précise pour l'exploitation de type transport collectif de la ligne Chengdu–Pujiang

Face au nombre limité de services, à l'uniformité des compositions, à la complexité des contrôles et au mauvais calage des rabattements, l'amélioration doit suivre le principe d'une adéquation précise de l'offre et de la demande afin de répondre aux besoins d'intégration au bassin et de renforcer le rôle du rail dans la région métropolitaine sur rail. Dans une perspective de chaîne complète, les mesures sont organisées selon deux niveaux : « optimiser les trains » et « optimiser les gares ». Le premier comprend l'adéquation des horaires et de la capacité par les arrêts et les compositions (figure 9) ; le second comprend l'amélioration du modèle de gare et du rabattement nocturne (figure 10).

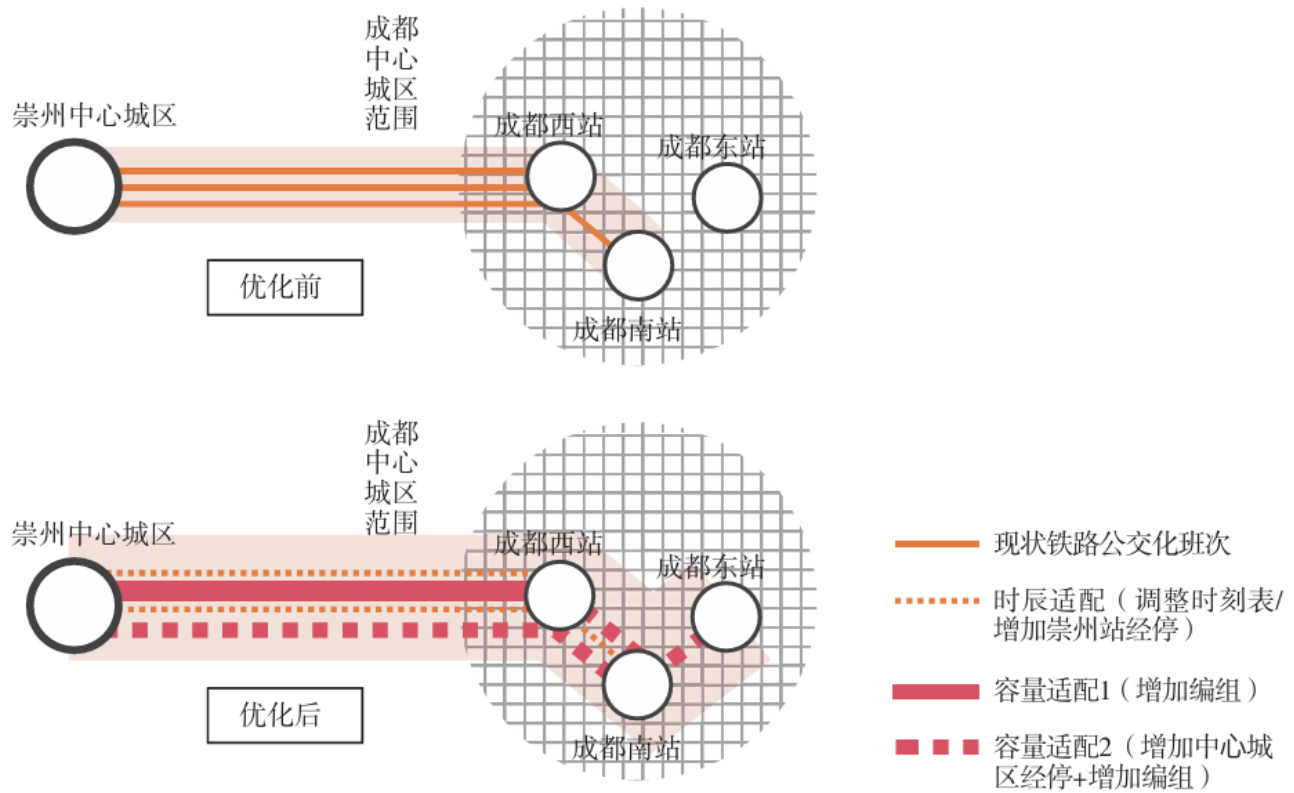


Figure 9. Stratégies d'amélioration de l'exploitation au niveau des horaires et des services

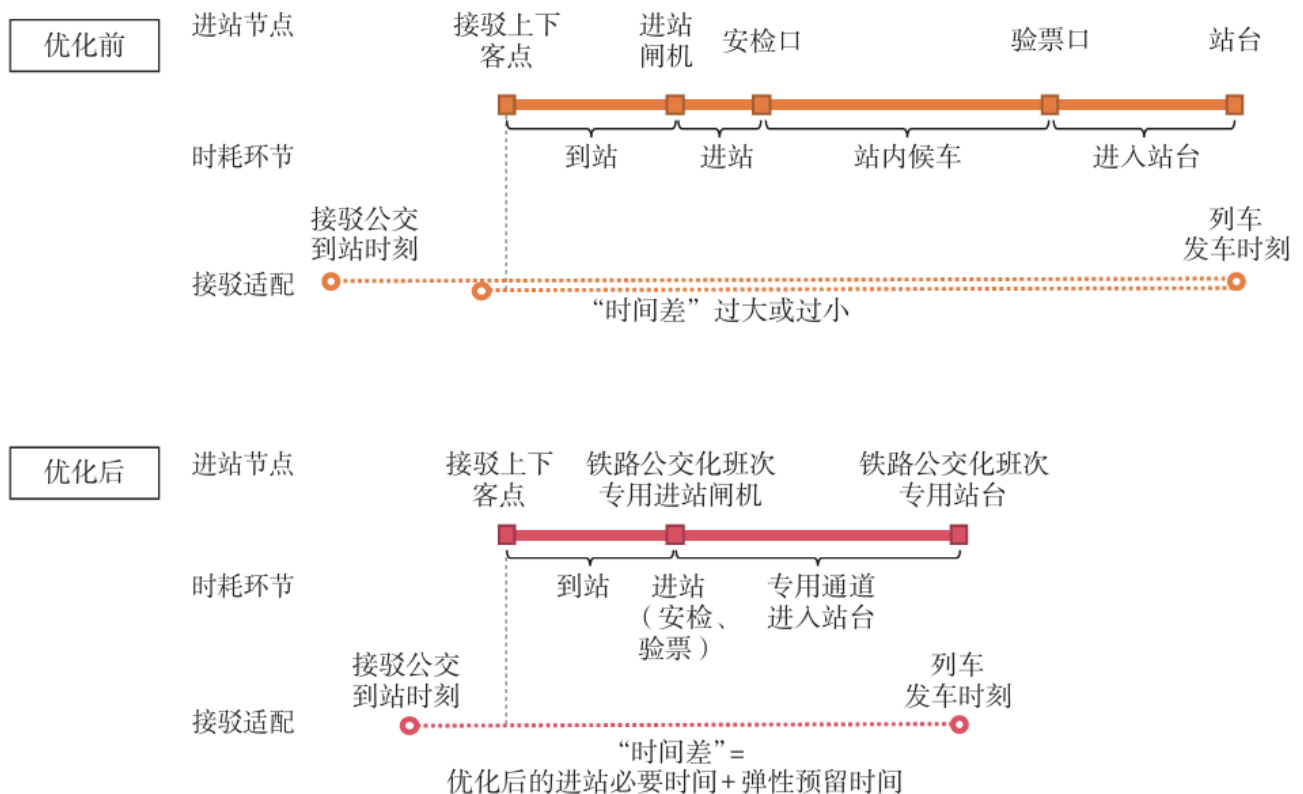


Figure 10. Stratégies d'amélioration au niveau de la gare

4.1 Ajouter des services en pointe et renforcer l'adéquation horaire

Les horaires existants doivent être optimisés sous la contrainte des heures de début et de fin du travail, afin d'augmenter le nombre de trains adaptés aux pointes. Il est proposé d'avancer le départ de C3384 (Ya'an–Chengdu South) à Chongzhou de 8 h 39 à 8 h 10, et son arrivée à Chengdu South de 9 h 03 à 8 h 34. Le départ de C6606 (Qionglai–Chengdu West) à Chongzhou devrait être avancé de 9 h 43 à une heure comprise entre 7 h et 8 h.

Pour les trains qui traversent Chongzhou sans arrêt mais présentent un horaire adapté, il est recommandé d'ajouter un arrêt, notamment C3380 (7 h 27 Qionglai – 8 h 00 Chengdu South), C3382 (7 h 03 Ya'an – 8 h 20 Chengdu South) et C6639 (18 h 30 Chengdu West – 18 h 48 Ya'an).

4.2 Optimiser les arrêts et les compositions afin d'améliorer l'adéquation de capacité

Certains trains présentent des horaires compatibles et s'arrêtent déjà, ou pourraient s'arrêter, à Chongzhou. Il est recommandé d'augmenter leur densité d'arrêt dans les trois gares centrales de Chengdu et d'adapter les compositions aux flux. C3380 devrait s'arrêter à Chongzhou, être prolongé jusqu'à Chengdu East et passer de quatre à huit voitures. C3382 devrait être prolongé de Chengdu South à Chengdu East et passer également de quatre à huit voitures. Ces mesures corrigeraient l'absence actuelle de service pendulaire ferroviaire vers Chengdu East.

4.3 Optimiser l'attente en gare et améliorer l'adéquation du fonctionnement

Dans le modèle actuel — attente dans le hall et arrêt de la validation cinq minutes avant le départ —, les voyageurs arrivant peu avant le train risquent fortement de le manquer. Il est proposé d'affecter un quai dédié aux trains pendulaires d'intégration au bassin. Les voyageurs pourraient y attendre à l'avance sans être liés à un train précis et embarquer selon le principe du premier train disponible. Le contrôle de sécurité et la validation devraient en outre être intégrés afin de réduire les ruptures de parcours.

Ces mesures permettraient de ramener le temps nécessaire à l'entrée d'environ onze à six minutes, d'améliorer fortement l'efficacité et d'accroître la sécurité perçue de l'usage ferroviaire. Les espaces de billetterie et d'attente devraient également être intégrés afin de créer des usages diversifiés et de fournir des services personnalisés aux voyageurs disposant de temps.

4.4 Caler les rabattements sur les arrivées et départs ferroviaires

Après 18 h 30, la demande de rabattement est faible et dispersée. Il est recommandé de créer des lignes de bus nocturnes étroitement coordonnées avec les trains et de contrôler précisément l'écart horaire. Selon le principe « temps nécessaire à l'entrée ou à la sortie + marge de trois minutes », les bus desservant les voyageurs au départ de Chongzhou devraient arriver environ neuf minutes avant le train ; ceux desservant les voyageurs de retour devraient partir environ sept minutes après son arrivée.

À partir de la distribution des domiciles et emplois, les lignes peuvent être différenciées selon la distance : les passagers lointains bénéficieraient de services express reliant rapidement les principaux arrêts, tandis que les passagers proches seraient desservis par des itinéraires courts et enchaînés, proches d'un service porte à porte.

5 Conclusion

L'exploitation ferroviaire de type transport collectif constitue un mode efficace, économique et confortable, particulièrement pertinent dans le contexte chinois de développement des villes nouvelles

périphériques et des bassins de navettage. L'étude évalue les effets de la ligne Chengdu–Pujiang et construit, à partir de la perspective de l'intégration au bassin, un cadre d'analyse fondé sur l'adéquation précise de l'offre et de la demande. Elle propose ainsi une nouvelle méthode pour la recherche et la pratique.

La viabilité de ce mode dépend de sa capacité à attirer une clientèle pendulaire relativement stable. Entre Chongzhou et le centre de Chengdu, la part du train demeure faible face à l'automobile, ce qui indique un potentiel important. Pourtant, la capacité ferroviaire est déjà saturée à certaines pointes, ce qui limite la qualité du service. La condition décisive est donc la précision de l'adéquation. Au-delà de l'efficacité comparable à la voiture, il faut répondre aux attentes différenciées en matière de qualité et de coût par des produits variés.

L'exploitation ferroviaire de type transport collectif est un instrument important d'intégration des réseaux et de renforcement des liens entre villes nouvelles et centre urbain. Quatre orientations sont recommandées.

(1) Cibler la demande. Les bassins de navettage et les fonctions des villes nouvelles diffèrent d'une métropole à l'autre, tout comme leurs stades de développement et la répartition spatio-temporelle des navetteurs. Les priorités doivent donc être adaptées à chaque ville : une ville nouvelle résidentielle doit surtout considérer les pointes pendulaires des jours ouvrables, tandis qu'une ville à forte concentration éducative doit analyser les flux scolaires de fin de semaine vers et depuis le centre.

(2) Améliorer l'efficacité de toute la chaîne. Le navettage ferroviaire comporte de multiples étapes. Outre le temps dans le train et dans la gare, le premier et le dernier kilomètre sont déterminants. Sous une contrainte de durée acceptable, améliorer l'accessibilité des rabattements et couvrir davantage de lieux d'emploi et de résidence [26] élargit le bassin potentiel et augmente les flux ferroviaires.

(3) Assurer une adaptation dynamique. L'amélioration de l'offre attirera davantage de navetteurs vers le rail et générera autour des gares une dynamique de développement proche du TOD urbain. La répartition spatio-temporelle des domiciles et emplois continuera donc d'évoluer ; il est nécessaire d'analyser régulièrement la demande et d'ajuster dynamiquement les dispositifs.

(4) Innover pour améliorer la qualité. L'expérience internationale reconnaît progressivement l'« utilité positive du navettage » [27], considéré comme un temps de détente personnel et une transition utile [28]. Des innovations combinant qualité et coût — par exemple siège garanti avec légère majoration tarifaire — peuvent privilégier le confort et consolider l'attractivité du train.

Les auteurs remercient le comité municipal du Parti, le gouvernement de Chongzhou et les services ferroviaires locaux pour les données fournies. Ils remercient également Zhang Hanshuang, Li Jia, Wang Yujia, Wang Geyang, Li Li, Jia Yunxiang, Feng Shiyang, Jin Yang et Cao Juanjuan pour leur contribution à l'enquête et à l'analyse.

Notes

① Définition de la région métropolitaine moderne figurant dans les Orientations de la Commission nationale du développement et de la réforme sur la formation et le développement des régions métropolitaines modernes (Fagai Guihua [2019] n° 328).

② En 2021, Shanghai a publié les Avis de mise en œuvre pour accélérer la planification et la construction des villes nouvelles pendant le XIVe plan quinquennal ; Pékin, le Plan de mise en œuvre pour promouvoir le développement de haute qualité des villes nouvelles de plaine et renforcer leur capacité d'accueil ; Chengdu a publié en 2022 les Avis de mise en œuvre pour améliorer et renforcer le centre urbain, les nouveaux districts et les villes nouvelles périphériques et perfectionner les fonctions urbaines.

- ③ Voir The Paper : « Shanghai Jinshan Railway, première exploitation ferroviaire de type transport collectif : 85 millions de voyageurs en dix ans », 28 septembre 2022, https://www.thepaper.cn/newsDetail_forward_20092699.
- ④ La délimitation part de l'isochrone ferroviaire d'une heure, ajustée selon les limites administratives et les déplacements réels. Les principaux paramètres sont : vitesse ferroviaire de 110 km/h, calculée à partir des distances interstations et des horaires ; rabattement en bus à Chongzhou à 15 km/h ; rabattement en métro dans le centre de Chengdu à 35 km/h.
- ⑤ Pour une rame CRH6A couramment utilisée, une voiture dispose de 62 sièges et d'une capacité nominale de 172 voyageurs ; la capacité au niveau de service acceptable est fixée à 120. Le taux d'occupation des sièges atteint 100 % à 62 voyageurs et le taux de charge 100 % à 120 voyageurs, limite du niveau de congestion acceptable. Entre 120 et 172 voyageurs, le taux de charge dépasse 100 % et correspond à un état de forte sursaturation.

Références

- [1] GAO Guoli, QIU Aijun, PAN Zhaoyu, et al. Comprendre objectivement les caractéristiques du bassin de navettage d'une heure pour soutenir le développement régulier des régions métropolitaines modernes en Chine [J]. *Macroeconomic Management*, 2023(1) : 26-32.
- [2] WANG Guangtao, LI Fen, LIU Xiang, et al. Nouvelle configuration de l'urbanisation dans la nouvelle phase de développement : concept et critères d'identification des régions métropolitaines modernes [J]. *Urban Planning Forum*, 2021(2) : 15-24.
- [3] CHAI Yanwei, ZHANG Xue, SUN Daosheng. Planification des bassins de vie urbains fondée sur les comportements spatio-temporels : le cas de Pékin [J]. *Urban Planning Forum*, 2015(3) : 61-69.
- [4] GUO Liang, ZHENG Chaoyang, HUANG Jianzhong, et al. Optimisation de la structure spatiale des grandes villes par identification du bassin de navettage : le cas du centre de Wuhan [J]. *City Planning Review*, 2019, 43(10) : 43-54.
- [5] WU Yimin, LI Wei, DU Liquan, et al. Identification, caractéristiques et modes de navettage transfrontalier du bassin de Pékin [J]. *Planners*, 2023, 39(6) : 56-62.
- [6] PAN Zhaoyu. Questions clés de la planification et de la construction des transports ferroviaires dans les régions métropolitaines [J]. *Urban Rapid Rail Transit*, 2020, 33(6) : 7-14.
- [7] ZHANG Yan, GU Zhihui, ZHOU Wei. Correspondance entre emplois et logements dans les grandes villes et coordination avec le transport sur rail : le cas de Shenzhen [J]. *Urban Planning Forum*, 2018(1) : 99-106.
- [8] CHEN Tao, PAN Haixiao. Couplage entre le réseau ferroviaire urbain de Shanghai et la répartition de la population et des emplois [J]. *Urban Planning Forum*, 2020(5) : 32-38.
- [9] WANG Chen, CAI Runlin, GENG Jian, et al. Modèle TOD du transport ferroviaire dans une logique d'intégration des réseaux : contenu, priorités et système, le cas de Suzhou [J]. *Urban Planning Forum*, 2022(S2) : 135-141.
- [10] WANG Deli. Construction des chemins de fer suburbains et restructuration spatiale du bassin de navettage d'une heure des mégapoles : analyse empirique du bassin autour de Pékin [J]. *Urban Problems*, 2023(12) : 70-77.
- [11] JU Xiaoting, DU Fengjiao, XIONG Jian, et al. Les cinq villes nouvelles de Shanghai : optimisation du système fonctionnel dans une perspective de région urbaine mondiale [J]. *Urban Planning Forum*, 2022(3) : 72-79.

- [12] ZHANG Hongwei, LI Wenju, REN Chong. Mode d'organisation du transport de voyageurs sur la ligne Chengdu–Pujiang [J]. *High-Speed Railway Technology*, 2011, 2(2) : 42-46.
- [13] WANG Jing, LAI Yihuan, LIU Jianfeng. Méthode de prévision des flux des chemins de fer régionaux et suburbains fondée sur les profils voyageurs [J]. *Urban Transport of China*, 2023, 21(2) : 102-108.
- [14] ZHANG Kuo, HUANG Xin, QU Xinmiao, et al. Mesures d'exploitation de type transport collectif du chemin de fer interurbain fondées sur l'analyse de la demande : le cas de Pékin–Tianjin [J]. *Modern Urban Research*, 2017(10) : 81-88.
- [15] ZOU Minghui. Modes d'exploitation de type transport collectif des chemins de fer interurbains dans la Grande Baie Guangdong–Hong Kong–Macao [J]. *Railway Transport and Economy*, 2021, 43(4) : 91-95.
- [16] LI Jie, YANG Liuwen, LI Ouyang. Stratégies innovantes pour l'exploitation de type transport collectif de l'interurbain Changsha–Zhuzhou–Xiangtan [J]. *Urban Mass Transit*, 2022, 25(10) : 1-5.
- [17] SUN Rong, TIAN Wo, JIANG Zhiwei. Système tarifaire pour l'exploitation de type transport collectif du chemin de fer interurbain Shenzhen–Huizhou [J]. *Railway Standard Design*, 2023, 67(3) : 17-21.
- [18] HU Xiaodan, SONG Yuansheng, CAO Linwei. Modèle de gestion pour l'exploitation de trains de type transport collectif sur les lignes existantes [J]. *Journal of Railway Engineering Society*, 2017, 34(8) : 104-108.
- [19] GOSTENINA V, MELNIKOV S, SYCHEVA E, et al. Development of an optimization model for commuter train traffic (case study of the Bryansk region, Russia) [J]. *Transportation Research Procedia*, 2022, 63 : 1034-1041.
- [20] RAHMAN M, AKTHER S. Intercity commuting in metropolitan regions: a mode choice analysis of commuters traveling to Dhaka from nearby cities [J]. *Journal of Urban Planning and Development*, 2022, 148(1) : 05021060.
- [21] SHANTZ A, CASELLO J, WOULD SMA C, et al. Understanding factors associated with commuter rail ridership: a demand elasticity study of the GO Transit rail network [J]. *Transportation Research Record*, 2022, 2676(8) : 131-143.
- [22] SHI J, YANG J, YANG L, et al. Safety-oriented train timetabling and stop planning with time-varying and elastic demand on overcrowded commuter metro lines [J]. *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review*, 2023, 175 : 103136.
- [23] ZUO T, WEI H, CHEN N. Promote transit via hardening first-and-last-mile accessibility: learned from modeling commuters' transit use [J]. *Transportation Research Part D: Transport and Environment*, 2020, 86 : 102446.
- [24] KUMAGAI J, WAKAMATSU M, MANAGI S. Do commuters adapt to in-vehicle crowding on trains? [J]. *Transportation*, 2021, 48 : 2357-2399.
- [25] VARGHESE V, CHIKARAISHI M, KATO H. Analysis of travel-time use in crowded trains using discrete-continuous choices of commuters in Tokyo, Japan [J]. *Transportation Research Record*, 2020, 2674(10) : 189-198.
- [26] TILAHUN N, THAKURIAH P V, LI M, et al. Transit use and the work commute: analyzing the role of last mile issues [J]. *Journal of Transport Geography*, 2016, 54 : 359-368.
- [27] OKUBO T, KITANO N, MORIMOTO A. A transportation choice model on the commuter railroads using inverse reinforcement learning [J]. *Asian Transport Studies*, 2022, 8 : 100072.
- [28] REDMOND L S, MOKHTARIAN P L. The positive utility of the commute: modeling ideal commute time and relative desired commute amount [J]. *Transportation*, 2001, 28 : 179-205.

Version révisée : août 2024

Traduction assistée par IA