

Article

Considérant la conception d'optimisation des bus urbains Planification du réseau

Xi Yu ¹, Huan Cao ², Ke Cao ², Liang Zou ²  et Lingxiang Zhu ^{3,*}

¹ Hangzhou Chuangtou Film and Television Co., Ltd., Hangzhou 310000, Chine ; 13806523777@139.com

² Collège d'ingénierie civile et des transports, Université de Shenzhen, Shenzhen 518060, Chine ; 1910473029@email.szu.edu.cn (HC); 2110474187@email.szu.edu.cn (KC) ; zouliang@szu.edu.cn (LZ)

³ Collège de mathématiques et d'informatique, Université agricole de Chine du Sud, Guangzhou 510642, Chine

* Correspondance : hcitys@163.com

Résumé : À l'heure actuelle, l'optimisation des réseaux de transports publics et la planification des véhicules sont réalisées indépendamment par étapes. Cependant, grâce à une analyse, il a été constaté que les informations de planification telles que les horaires des itinéraires constituent un facteur important lié à la sélection de l'itinéraire des passagers. Par conséquent, afin d'améliorer encore l'effet d'optimisation, cet article propose une idée innovante d'optimisation simultanée du réseau de lignes et de la planification. Basé sur la construction d'un réseau de transport public réel-virtuel, cet article construit un modèle d'optimisation synchrone du réseau de lignes et de la planification en considérant à la fois l'attente des passagers et le temps à bord. Pour parvenir à prendre en compte les passagers pour différents choix d'itinéraire, un algorithme de parcours le plus court basé sur le yen a été proposé pour analyser le nombre et le poids des chemins les plus courts entre le même OD, et un algorithme génétique a été utilisé pour résoudre le modèle. Enfin, l'efficacité du modèle a été vérifiée à l'aide d'exemples numériques et les résultats ont montré que l'optimisation synchrone était supérieure à l'optimisation par étapes : le coût du temps des passagers a été réduit de 21,5 %, le coût d'exploitation des bus a été réduit de 13,7 % et le coût total du bus le coût du système a été réduit de 18,0 %.

Mots-clés : sélection d'itinéraire ; intervalle de départ ; Planification; pertinence; optimisation synchrone



Citation : Yu, X. ; Cao, H. ; Cao, K. ; Zou, L. ; Zhu, L. Considérant la conception d'optimisation de la planification du réseau de bus urbain.

Appl. Sci. 2024, 14, 6337. <https://doi.org/10.3390/app14146337>

Reçu : 22 juin 2024

Révisé : 15 juillet 2024

Accepté : 18 juillet 2024

Publié : 20 juillet 2024



Copyright : © 2024 par les auteurs.
Licencié MDPI, Bâle, Suisse.

Cet article est un article en libre accès distribué selon les termes et conditions des Creative Commons

Licence d'attribution (CC BY) (<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>).

1. Introduction

Avec l'accélération de l'urbanisation et le développement économique rapide de notre pays, le nombre de véhicules à moteur et les demandes de déplacement des résidents augmentent également rapidement. Les embouteillages sont devenus monnaie courante et deviennent de plus en plus graves.

Pour atténuer la pression actuelle sur les transports, notre pays promeut vigoureusement le développement des transports publics, en particulier dans les grandes villes où les transports publics se développent rapidement. Par exemple, à Shenzhen, la longueur des lignes de transport ferroviaire opérationnelles a dépassé 400 km en 2020, atteignant 422,6 km, soit une augmentation d'une année sur l'autre de 33,9 %. La longueur des lignes d'autobus exploitées a atteint 21 310,53 km, soit une diminution d'une année sur l'autre de 1,4 %. Actuellement, dans les grandes villes du pays, les modes de transport tels que les bus, les métros, les taxis et les tramways forment ensemble un réseau de transports publics, avec un flux global de passagers en constante augmentation. En 2019, le flux quotidien moyen de passagers des transports publics à Shenzhen était de 11,06 millions de passagers par jour, soit une augmentation de 2,65 millions de passagers par jour par rapport à 2011. En 2020, en raison de l'impact de la pandémie de COVID-19, le flux moyen de passagers par jour Le volume quotidien de passagers pour l'ensemble de l'année était de 8,226 millions de passagers, soit une baisse de 25,6 % sur un an. Avec l'amélioration de la situation pandémique et l'ouverture de nouvelles lignes de métro, le flux de passagers des transports publics a atteint en décembre son niveau le plus élevé de l'année, avec un volume quotidien moyen de passagers de 10,603 millions de passagers, revenant à 94,1% de la même période en 2019.

Pour améliorer l'efficacité du transport des bus et équilibrer l'offre et la demande du système de bus, il est nécessaire de replanifier et de repenser le réseau de bus. Cela permettra d'éviter un chevauchement important avec les lignes de transport ferroviaire, évitant ainsi les itinéraires et les ressources redondants.

déchets. Dans le même temps, il est crucial d'assurer des connexions et des transferts fluides entre les bus et le transport ferroviaire, répondant ainsi aux besoins de déplacement des passagers et réduisant les coûts de déplacement.

Après avoir mené des recherches et des analyses nationales et internationales sur les réseaux de bus, il a été constaté que les études existantes négligent l'impact de la planification sur l'optimisation du réseau de bus. Ils ne tiennent pas non plus compte des coûts d'attente des passagers lors du calcul du coût total du voyage des passagers. L'analyse des données de balayage des cartes de passagers a révélé une corrélation modérée entre les choix d'itinéraire des passagers et la fréquence des services de bus. Par conséquent, cet article inclut des considérations de planification dans l'optimisation des réseaux de bus.

Des chercheurs nationaux et internationaux ont mené des recherches relativement approfondies sur l'optimisation des réseaux de bus urbains. La majorité des recherches sur l'optimisation des réseaux se concentrent sur trois aspects : la théorie, la construction de modèles et le développement d'algorithmes.

Méthodes théoriques : Pu Han et al. ont proposé une méthode d'optimisation de réseau de bus basée sur des réseaux complexes multicouches [1]. Mitra Subhro et coll. a présenté une méthode d'optimisation de réseau de bus multi-objectifs [2]. Petit Antoine et al. a introduit une méthode de conception de réseau de bus basée sur des réseaux agrégés et des modèles d'approximation continue [3].

Szeto et coll. ont proposé une méthode d'optimisation des réseaux pour les réseaux de transport urbain et les réseaux routiers [4]. Zhang L a développé une méthode d'optimisation auxiliaire du réseau de transports publics (PTRN) basée sur la prédiction des liens [5]. Klier MJ a introduit une nouvelle méthode d'optimisation pour la conception des réseaux de transports publics, maximisant le nombre total attendu de passagers des transports publics sous contraintes budgétaires [6].

Yin J a étudié l'optimisation des horaires de train coordonnés des réseaux de transport ferroviaire urbain et a proposé une formule mathématique pour générer de manière synchrone l'horaire de train le mieux coordonné [7]. Liang M a établi un modèle multi-objectif basé sur deux objectifs contradictoires, et a développé deux populations pour optimiser simultanément le réseau et la fréquence [8]. Wang C a introduit une méthode de conception de réseau multimode à plusieurs niveaux [9].

Huang A a étudié un service de transport public répondant à la demande (DRT) qui ajuste continuellement les trajets en fonction des demandes dynamiques des passagers, maximisant ainsi l'efficacité du système tout en tenant compte des fenêtres horaires préférées des passagers [10]. Gong M a proposé de concevoir un réseau CB modulaire basé sur une flotte basé sur les transferts, optimisant simultanément l'affectation des itinéraires des passagers [11]. Yang J a proposé un nouvel algorithme de génération d'ensemble de routes initial et un algorithme heuristique alterné de taille d'ensemble de routes intégré dans un cadre de solution basé sur l'algorithme génétique de tri non dominé-II (NSGA-II) pour générer des frontières de Pareto approximatives [12]. Yao E a présenté une nouvelle méthode (MVT-E-VSP) pour planifier des véhicules électriques de plusieurs types [13]. Guo R a optimisé les performances opérationnelles d'un BRT bilatéral avec une demande élastique, minimisant les coûts de temps généralisés par passager [14]. Li Wenyong et coll. ont proposé une méthode de planification de réseau de bus de microcirculation basée sur un clustering hiérarchique [15]. Shi Xiaowei et coll. ont proposé une méthode d'optimisation du réseau de bus de desserte ferroviaire basée sur le modèle d'étiquetage des itinéraires les plus courts [16]. Huang Min et coll. ont proposé une méthode pour construire différents niveaux d'itinéraires de bus et les optimiser séparément en fonction de différents niveaux et fonctions [17]. Yight F et al. ont fourni une approche hybride pour optimiser la méthode théorique pour les problèmes de planification de pipeline dépendant de la séquence [18].

Construction du modèle : Ren Hualing et al. ont proposé un nouveau modèle d'allocation de bus basé sur des stratégies de lignes et de nœuds [19]. Shi Qingshuai et coll. ont proposé un modèle d'évaluation de l'optimisation des itinéraires de transport public basé sur des données de bus multi-sources [20]. Fan W a introduit une méthode heuristique basée sur Tabu Search (TS) et l'a appliquée à la conception de réseaux de transports publics à demande variable [21]. Huang D a développé un nouveau modèle d'optimisation pour la conception de réseaux de bus personnalisés (CB) adaptés à la demande, comprenant des phases dynamiques et statiques [22]. Li X a proposé un modèle d'optimisation conjoint pour la planification du réseau de bus électriques de recharge conventionnel et le déploiement de chargeurs fixes, en tenant compte des politiques de recharge partielle et des prix de l'électricité en fonction de l'heure d'utilisation [23]. Steiner K a développé un modèle d'optimisation de planification stratégique du réseau pour les lignes de bus [24]. Chai S a établi un modèle de conception de réseau de bus multi-objectifs qui prend non seulement en compte les impacts des transferts, mais prend également en compte les retards dans le temps de trajet des passagers dus à la congestion [25].

modèle pour la conception de services de bus de desserte afin d'améliorer la qualité du service et l'accessibilité des pôles de transport [26].

Développement d'algorithmes : Z. Tang et al. ont proposé de coupler la recherche déterministe locale et les algorithmes évolutifs globaux pour l'optimisation du réseau de bus [27]. Kuan et coll. ont mené des recherches sur l'optimisation du réseau de bus en utilisant une combinaison d'algorithmes génétiques et d'algorithmes de colonies de fourmis [28]. Ngamchai et al. ont introduit une méthode qui combine divers mécanismes d'opération génétiques pour la conception d'optimisation du réseau de bus [29]. Bourbonnais PL a utilisé des données précises du réseau routier local et des données représentatives de la demande de transports publics pour l'optimisation des algorithmes génétiques afin de générer des solutions raisonnables (30). Ding Jianxun et coll. proposé en utilisant un algorithme amélioré du K-plus court chemin pour la recherche sur l'optimisation du réseau de bus [31]. Luo Xiaoling et coll. ont proposé d'utiliser l'algorithme de clustering K-means pour effectuer une analyse de cluster sur les gares routières pour la recherche sur l'optimisation du réseau [32]. Gao Mingyao et coll. ont proposé d'utiliser un algorithme amélioré d'optimisation par essaim de particules (PSO) pour résoudre le modèle d'optimisation du réseau de bus [33]. Xin Yi et coll. proposé d'utiliser l'algorithme NSGA-II pour résoudre le modèle d'optimisation du réseau de bus multi-objectifs [34]. Wang Ning et coll. ont proposé d'utiliser un algorithme génétique cellulaire pour résoudre le modèle de réseau de bus d'alimentation (35). Yu Lijun et coll. ont conçu un algorithme de recuit simulé amélioré pour optimiser et résoudre le modèle d'optimisation du réseau [36]. Wu Kexin et coll. ont utilisé un algorithme amélioré de colonie de fourmis pour l'optimisation des réseaux de bus [37].

Dans l'ensemble, la recherche sur l'optimisation des réseaux de bus a permis d'obtenir de nombreux excellents résultats de recherche, tant dans les méthodes théoriques que dans la construction de modèles ainsi que dans le développement d'algorithmes, fournissant une base de recherche théorique pour le travail de conception d'optimisation du réseau de cet article. Cependant, ces réalisations présentent encore certaines lacunes dans leur

application pratique : (1) Sélection de l'itinéraire des passagers ignorée : les chercheurs nationaux et internationaux supposent souvent que les passagers choisissent le temps le plus court ou le moins de correspondances lors de l'optimisation des réseaux de bus. Cependant, lorsque plusieurs trajets entre les mêmes gares origine-destination (OD) répondent aux critères des passagers, ceux-ci peuvent choisir de manière sélective différents itinéraires à parcourir.

(2) N'a pas pris en compte l'impact de la planification des itinéraires sur l'optimisation du réseau de bus : les recherches antérieures ont souvent négligé l'influence de la planification des itinéraires sur la sélection de l'itinéraire des passagers pendant la phase d'aménagement du réseau. Lors du calcul du coût total du voyage des voyageurs, les frais d'attente aux arrêts de bus n'ont pas été pris en compte. Cette prise en compte incomplète dans le calcul du coût total du temps pour les passagers est directement liée à la planification des véhicules, car les coûts d'attente des passagers sont directement corrélés à la planification.

Pour aider les lecteurs à mieux comprendre la structure et le contenu de cet article, la feuille de route technique du contenu des chapitres est illustrée dans la figure 1. Un bref aperçu de chaque chapitre est fourni ci-dessous : La

section 2 présente la construction et la solution du modèle d'optimisation intégré pour le bus. réseau et planification. Il définit d'abord la portée de la recherche sur le problème du réseau de bus dans cet article, présente les hypothèses de construction du modèle, puis décrit la fonction objectif et les contraintes du modèle d'optimisation intégré.

Basé sur la construction d'un réseau de bus réel-virtuel, qui équilibre les intérêts des passagers et des opérateurs, le chapitre établit le modèle d'optimisation intégré.

La section 3 applique l'algorithme de Yen pour analyser les chemins accessibles entre les mêmes paires origine-destination (OD). Les chemins sont triés en fonction de leur poids et le paramètre K est défini de manière flexible pour s'adapter à différents OD. Étant donné que de tels problèmes sont généralement NP- Difficiles et impliquent une difficulté et une complexité de calcul élevées, des algorithmes d'optimisation intelligents sont généralement utilisés. Compte tenu de la complexité informatique de la construction d'un réseau de bus à grande échelle, nous avons choisi l'algorithme génétique efficace pour résoudre le modèle d'optimisation intégré.

La section 4 valide l'efficacité du modèle d'optimisation intégré pour un réseau de bus et la planification basée sur l'algorithme génétique à travers des études de cas spécifiques. En définissant des pondérations entre les stations, l'efficacité de l'algorithme dans le processus d'optimisation a été vérifiée. Les cas ont été optimisés par étapes et de manière synchrone, les résultats étant comparés entre eux. Enfin, une analyse de sensibilité a été menée en se concentrant sur différentes parties prenantes, confirmant la conclusion selon laquelle les effets de réduction des coûts sont plus significatifs.

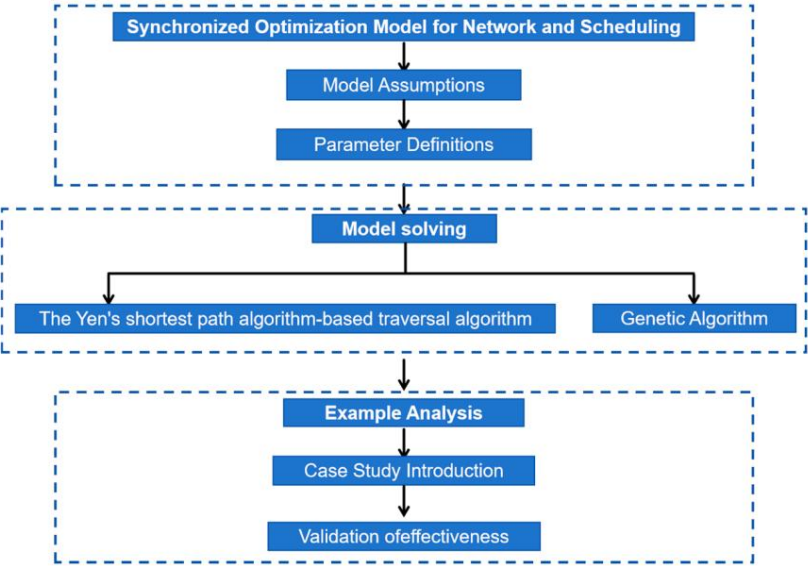


Figure 1. Feuille de route technique du contenu de la section.

2. Modèle d'optimisation synchronisé pour le réseau de bus et la planification

réseau et planification basés sur l'algorithme génétique à travers des études de cas spécifiques.

En raison de la nature multifactorielle des facteurs influençant le système de bus, le processus suivant a été vérifié. Les cas ont été optimisés par étapes et de manière synchrone, avec des résultats des hypothèses sont formulées pour définir avec précision le problème d'optimisation du réseau de bus et comparées entre elles. Enfin, une analyse de sensibilité a été menée en se concentrant sur différentes parties prenantes, confirmant la conclusion selon laquelle les effets de réduction des coûts sont plus significatifs.

(1) Les passagers choisissent l'itinéraire le plus court pour emprunter ; lorsque plusieurs itinéraires peuvent satisfaire le temps de trajet le plus court, les passagers choisissent en fonction de la proportion du total 2. Modèle d'optimisation synchronisé pour le réseau de bus et la planification

2.1. Hypothèses du modèle

(2) Le coût d'attente des passagers est supposé être égal à la moitié du temps d'attente moyen. En raison de la nature multifactorielle des facteurs influençant le système de bus, ce qui suit quant à l'itinéraire sélectionné, qui est égal à la moitié de l'intervalle de départ du les hypothèses sur les véhicules sont faites pour définir précisément la problématique d'optimisation du réseau de bus abordée l'itinéraire choisi. dans cette étude:

(3) Les véhicules sur chaque itinéraire sont supposés identiques, à l'exception du nombre de (1) Les passagers choisissent l'itinéraire le plus court pour emprunter ; lorsque plusieurs itinéraires peuvent voyager. Les différences dans des facteurs tels que le trafic routier, le nombre de passagers et la vitesse de conduite qui satisfont au temps de trajet le plus court, les passagers choisissent en fonction de la proportion du total. pouvant affecter le choix de l'itinéraire des passagers sont ignorés. nombre de trajets effectués par les véhicules sur cet itinéraire OD. (Durée la plus courte)

(4) Le temps de trajet total des passagers comprend le temps d'attente, le temps passé dans le véhicule. (2) Le coût d'attente des passagers est supposé être égal à la moitié du temps d'attente moyen. Le temps de marche depuis l'origine jusqu'à l'arrêt de bus et le temps de marche depuis l'arrêt de bus jusqu'à pour la destination. l'itinéraire sélectionné, qui est égal à la moitié de l'intervalle de départ des véhicules sur le itinéraire choisi.

(5) Les transferts de passagers sont limités au même arrêt de bus. S'il n'y a pas d'itinéraire direct (3) Les véhicules sur chaque itinéraire sont supposés identiques à l'exception du nombre de entre l'origine et la destination, les passagers doivent descendre à un arrêt lors du trajet initial. Les différences dans des facteurs tels que le trafic routier, le nombre de passagers et la vitesse de conduite peuvent la sélection de l'itinéraire des passagers sont ignorées.

(4) La durée totale du trajet des passagers comprend le temps d'attente, le temps passé sur le effectuant des transferts au même arrêt. (6) Il est supposé que les passagers peuvent monter à bord du prochain véhicule disponible sur le véhicule souhaite, le temps de marche depuis l'origine jusqu'à l'arrêt de bus et le temps de marche depuis l'arrêt de bus. itinéraire après l'arrivée à l'arrêt, sans aucune restriction de capacité des véhicules. à destination.

(5) Les transferts de passagers sont limités au même arrêt de bus. S'il n'y a pas d'itinéraire direct entre l'origine et la destination, les passagers doivent descendre à un arrêt sur l'itinéraire initial et montez à bord d'un autre bus passant par cet arrêt pour atteindre la destination, en considérant uniquement transferts au même arrêt.

(6) Il est supposé que les passagers peuvent monter à bord du prochain véhicule disponible à l'heure souhaitée. itinéraire après l'arrivée à l'arrêt, sans aucune restriction de capacité des véhicules.

2.2. Définitions des paramètres

$T_{ij}(X)$: Dans le cadre du réseau de bus X , le temps de trajet le plus court nécessaire aux passagers pour voyager de la Station i à la Station $j(s)$;

T_{wij} : Le temps d'attente des passagers voyageant du site i au site j le long du ou des chemins les plus courts choisis ;

TS_{ij} : Temps d'arrêt du bus lors de son trajet du site i au site $j(s)$;

T_{dij} : Temps de passage du passager du site i au site $j(s)$;

TS_{ij} : Le temps d'arrêt d'un bus lors de son trajet de la gare i à la gare $j(s)$;

T_s : Le temps de séjour moyen d'un bus à un ou plusieurs arrêts de bus ;

T_r : Le temps opérationnel de l'itinéraire $r(s)$;

F : Coût(s) de fonctionnement ;

M : Le coût d'achat d'un ou de plusieurs bus ;

N : Les coûts d'exploitation de chaque ligne(s) de bus ;

N : Coût par unité de distance pour un ou plusieurs bus ;

M : Le coût d'achat journalier par bus(s) ;

X : Réseau de bus ;

Q_{ij} : demande de trafic de la station i à la station j ; n : Le nombre d'arrêts entre les stations i et j sur l'itinéraire sélectionné ;

L^r La longueur du segment entre les stations i et j sur l'itinéraire r (km) ; j_e :

S : Le nombre de stations totales représentées ; Le nombre s^r de stations entre les stations i et j sur l'itinéraire r ; ij : l_{min} : La longueur minimale

d'un itinéraire de bus (km) ; l_{max} : La longueur maximale d'une

ligne de bus (km) ; f_{min} : l'intervalle de départ minimum pour les

bus sur une ligne de bus ; f_r : Intervalle de départ des bus de la ligne r ; f_{max} : L'intervalle de départ maximum pour les bus sur une ligne de

bus ; L_r : La longueur du parcours r (km) ; d_r : La distance en ligne droite entre les points de départ et d'arrivée de l'itinéraire r (km) ;

λ : Le coefficient de pondération entre le coût du temps et le coût d'exploitation ; ω : Le coefficient de conversion entre coût de temps et coût d'exploitation ; $\delta\omega$: le coefficient d'attente des passagers est dû au fait que les passagers arrivent de manière uniforme et que les arrivées de véhicules suivent une distribution de Poisson, $\delta\omega = 0,5$;

X^r La valeur est 1 si le chemin le plus court du site i au site j passe par la route r , et 0 ij : si ce n'est pas le cas ;

V : La vitesse moyenne d'un bus (m/s) ; oui

r_{ne} Le segment ij entre les stations adjacentes i et j sur l'itinéraire r a une valeur de 1 lorsque ij : il est sur l'itinéraire r , et une valeur de 0 lorsqu'il n'est pas ; Ou : La station i sur la route r . j_e

2.3. Construction de modèles

La réflexion sur l'optimisation de la conception des réseaux de bus urbains avec la planification vise à minimiser le coût du temps passé par les passagers et le coût d'exploitation des bus. Les contraintes incluent la longueur de l'itinéraire, l'avancement, les stations d'itinéraire non répétitives et les coefficients d'itinéraire non linéaires. Un modèle d'optimisation synchrone est développé à la fois pour le réseau et la planification.

2.3.1. La fonction objectif

L'objectif d'optimisation du réseau de bus doit tenir compte de manière globale des intérêts des passagers et des exploitants de bus. Les passagers recherchent des temps de trajet courts, tandis que les opérateurs visent une utilisation efficace des ressources et des coûts d'investissement minimisés. Par conséquent, dans la conception d'optimisation du réseau de bus et du modèle de planification dans cet article, les intérêts des passagers et des opérateurs de bus sont simultanément pris en compte. L'objectif est de réduire le temps de trajet des passagers et les coûts d'exploitation des bus, dans le but de minimiser les coûts pour les passagers et les opérateurs de bus du réseau de bus.

Coût du voyage des passagers

Le coût du voyage des passagers fait principalement référence à la durée totale du voyage des passagers dans la zone réseau, qui comprend le temps d'attente et le temps passé dans le véhicule.

(1) Temps d'attente

Dans les hypothèses du modèle mentionnées précédemment, il est supposé que les passagers, à leur arrivée à la gare, peuvent monter à bord du premier bus de l'itinéraire cible pour le voyage, ce qui signifie que les passagers peuvent tous prendre le prochain bus programmé de l'itinéraire cible. Par conséquent, le temps d'attente des passagers dépend principalement de l'avancement de l'itinéraire qu'ils attendent, le temps d'attente des passagers étant la moitié de l'avancement de l'itinéraire sélectionné. Le temps d'attente des passagers s'exprime comme suit :

$$T_{wij} = \delta w \sum_{r=1}^R r \times \frac{1}{f_r} \frac{1}{\sum_{r=1}^R \frac{1}{f_r}} = \delta w \frac{1}{f_{ij}} \sum_{r=1}^R \frac{r \times \frac{1}{f_r}}{\sum_{r=1}^R \frac{1}{f_r}} \quad (1)$$

(2) Temps passé dans le

véhicule Le temps passé dans le véhicule se compose principalement de deux parties : le temps de trajet entre les arrêts et le temps de séjour aux arrêts. En ignorant l'influence de la route et d'autres facteurs externes, le temps de trajet est lié à la distance et à la vitesse de déplacement, tandis que le temps de séjour est lié au nombre d'arrêts intermédiaires. Par conséquent, le temps de trajet et le temps de séjour sont représentés comme suit :

$$T_{dj} = \frac{1}{V_r} \sum_{r=1}^R r \times \frac{1}{f_r} \frac{1}{\sum_{r=1}^R \frac{1}{f_r}} L_{ij}^r \quad (2)$$

$$T_{Sij} = T_s \sum_{r=1}^R r \times \frac{1}{f_r} \frac{1}{\sum_{r=1}^R \frac{1}{f_r}} s_{je}^r \quad (3)$$

Sur la base de ce qui précède, le coût total du temps pour les passagers peut être exprimé comme suit :

$$T = \sum_{j=1}^S \sum_{i=1}^S \sum_{j \neq i} \lambda_{ij} (\delta w \sum_{r=1}^R \frac{r \times \frac{1}{f_r}}{\sum_{r=1}^R \frac{1}{f_r}} + \frac{1}{V_r} \sum_{r=1}^R r \times \frac{1}{f_r} \frac{1}{\sum_{r=1}^R \frac{1}{f_r}} L_{ij}^r + T_{Sij} \sum_{r=1}^R r \times \frac{1}{f_r} \frac{1}{\sum_{r=1}^R \frac{1}{f_r}} s_{rj}) \quad (4)$$

Coût d'exploitation des bus

Les dépenses des opérateurs de bus comprennent principalement l'achat de bus, la construction de gares, les salaires et traitements du personnel, les frais de gestion, l'assurance des véhicules, les coûts de carburant, les dépenses d'amortissement des véhicules et les taxes, entre autres. Dans ce document, seuls les coûts opérationnels des bus sont pris en compte lors de l'examen des coûts, qui se reflètent principalement dans les coûts économiques. Il s'agit spécifiquement des coûts d'acquisition des véhicules et des coûts d'exploitation de chaque itinéraire du réseau de bus.

(1) Coût d'achat des véhicules Pour

minimiser les coûts d'achat des véhicules et maximiser l'utilisation des véhicules, il est nécessaire de réduire le nombre de véhicules autant que possible. Cependant, il est également important de s'assurer qu'il y a un bus disponible à la gare de départ pour répondre au prochain départ prévu pour chaque itinéraire. Cela nécessite de s'assurer que l'avancée cumulée est supérieure à la durée de chaque itinéraire, ce qui signifie que le nombre minimum de véhicules requis pour chaque itinéraire doit satisfaire à la condition suivante :

$$\geq 2 n_{min} \frac{L_r}{V} \cdot \frac{1}{f_r} \quad (5)$$

Par conséquent, le coût minimum d'achat d'un véhicule est de :

$$M = \sum_{r=1}^R r n_{min} \quad (6)$$

(2) Coût d'exploitation de la route

Le coût d'exploitation d'une ligne de bus comprend principalement le coût d'exploitation du véhicule, qui est principalement lié à la fréquence des déplacements et au coût par trajet. Par conséquent, le coût opérationnel minimum d'un itinéraire est représenté comme suit :

$$N = \sum_{r=1}^R \frac{2Tr}{fr} \bar{N} \quad (7)$$

Ainsi, le coût d'exploitation du bus se représente comme suit :

$$F = 2 \left(\sum_{r=1}^R \frac{Lr}{V} \cdot \frac{1}{fr} \bar{M} + \frac{Tr}{fr} \bar{N} \right) \quad (8)$$

2.3.2. Conditions de contrainte

Pour fournir une définition détaillée des conditions définies dans le modèle, les contraintes suivantes sont imposées pour restreindre davantage le modèle : (1) Longueur

des itinéraires Dans

l'optimisation du réseau de bus, si les itinéraires de bus sont trop courts, les coûts d'exploitation augmentent, tandis que les itinéraires trop longs réduisent confort des passagers. Par conséquent, pour mieux répondre aux besoins des passagers, les itinéraires ne doivent pas être trop courts ou trop longs. La longueur de chaque itinéraire doit satisfaire la contrainte suivante :

$$l_{min} \leq L_r < l_{max} \quad (9)$$

(2) Avancement

Il est crucial de régler correctement l'avance. Un trajet trop long augmente le temps d'attente des passagers, ce qui entraîne des coûts de temps plus élevés pour les passagers. D'un autre côté, un progrès trop court entraîne un nombre plus élevé de véhicules nécessaires, ce qui entraîne une augmentation des coûts opérationnels pour les opérateurs de bus. L'avancement doit donc satisfaire la contrainte suivante :

$$f_{min} \leq f_r < f_{max} \quad (\text{dix})$$

(3) Gares routières non répétitives Dans

le réseau de bus conçu, pour éviter que les lignes de bus ne forment des boucles qui augmentent les coûts de déplacement des passagers et conduisent à un gaspillage de ressources, une contrainte est fixée selon laquelle chaque ligne de bus doit contenir des gares routières non répétitives. Cela signifie que chaque gare routière ne doit apparaître qu'une seule fois le long de chaque ligne de bus.

$$\hat{O}_j^r = O_j^r ; j_e, j = 1, \dots, S ; j_e = j ; r = 1, \dots, R \quad (11)$$

(4) Coefficient non linéaire Pour

éviter les détours excessifs dans les itinéraires établis, réduire les coûts de temps de trajet des passagers et améliorer la qualité des services de bus, le coefficient non linéaire des itinéraires est contraint sur la base du « Code de planification et de conception du trafic routier urbain. » dans le modèle d'optimisation synchrone de cet article .

$$\frac{M}{Mdr} \leq 1,4 \quad (12)$$

Dans les gares de destination (OD), on suppose que les passagers choisissent toujours le chemin le plus court. Cependant, dans les cas où il existe plusieurs chemins les plus courts entre les paires OD, il devient nécessaire de considérer les choix des passagers parmi ces chemins. Il est donc essentiel d'analyser et de calculer les chemins les plus courts entre chaque paire OD. Pour répondre à ce besoin analytique, l'algorithme du chemin le plus court du yen est sélectionné pour analyser les scénarios de chemin le plus court entre différentes paires OD. L'algorithme Yen, proposé par Jin Y. Yen en 1971 pour résoudre le problème KSP (K-Shortest Paths), est basé sur l'algorithme du chemin le plus court et calcule les K premiers chemins les plus courts entre les stations OD. Il convient au calcul des K chemins les plus courts à source unique dans des graphes acycliques dirigés avec des bords pondérés non négatifs [38]. Dans cet article, le processus de base du parcours du plus court chemin basé sur l'algorithme Yen est le suivant :

(1) Étant donné la station d'origine o et la station de destination d, pour le parcours initial, définissez la valeur de K sur 1. Cela trouvera le premier chemin le plus court P1 pour la paire OD et le poids correspondant Y1 (2) Lors de la recherche du deuxième chemin le plus court

ouf. P2 avec K fixé à 2, le processus est le suivant : 1 Mettre à jour les chemins les plus courts pour chaque segment : Dans un premier temps, définir les poids de tous les segments du chemin P1 à l'infini. Calculez le nouveau chemin le plus court pour chaque segment en définissant les poids des segments sur le chemin P1 à l'infini dans l'ordre. Concaténez les nouveaux chemins les plus courts résultants avec le chemin P1 d'origine . Le nombre de calculs est égal au nombre de segments du chemin. 2 Initialisez l'ensemble de routes candidat X. Si les chemins nouvellement obtenus à l'étape précédente ne sont pas vides et remplissent les conditions de stations non répétitives et sont différents du chemin P1 précédemment sélectionné, ajoutez-les à l'ensemble de routes candidat X. Supprimez tous les doublons de l'ensemble d'itinéraires candidats X. 3 Sélectionnez l'itinéraire le plus court et mettez à jour l'ensemble d'itinéraires candidats X. Dans l' ensemble d'itinéraires candidats non vide X, sélectionnez le chemin avec le poids minimum comme deuxième chemin le plus court P2, avec un poids de Y Supprime ce chemin de l'ensemble de routes candidats X. Ce processus garantit que le deuxième chemin le plus court est trouvé tout en considérant les stations non répétitives et en évitant la duplication avec le premier chemin sélectionné P1.

(3) Lors de la recherche du i-ème chemin le plus court Pi avec K défini sur i, le processus est le suivant : 1 Mettre à jour les chemins les plus courts pour chaque segment : Commencez par définir les poids de tous les segments sur le chemin Pi-1 à l'infini. Calculez le nouveau chemin le plus court pour chaque segment en définissant les poids des segments sur le chemin Pi-1 à l'infini dans l'ordre. Concaténez les nouveaux chemins les plus courts résultants avec le chemin Pi-1 d'origine . Le nombre de calculs est égal au nombre de segments du chemin. 2 Initialiser l'ensemble de routes candidats X. Si les chemins nouvellement obtenus à l'étape précédente ne sont pas vides et remplissent les conditions de stations non répétitives et étant différents des chemins P1 à Pi-1 précédemment sélectionnés, ajoutez-les à la route candidate ensemble X. Supprimez tous les doublons de l'ensemble d'itinéraires candidats X. 3 Sélectionnez l'itinéraire le plus court et mettez à jour l'ensemble d'itinéraires candidats X. Dans l' ensemble d'itinéraires candidats non vide X, sélectionnez le chemin avec le poids minimum comme i-ème chemin le plus court. Pi , avec un poids de Y Supprimez ce chemin de l'ensemble de routes candidats X. S'il existe plusieurs chemins avec le même poids Yi od, répétez le processus ci-dessus pour chaque chemin. du i-ème chemin le plus court obtenu avec le poids Y

(4) Comparez le poids Y oh le premier chemin le plus court. Si Y od est égal à Y oh, réglez K sur i + 1 et répétez l'étape (3) jusqu'à ce que Y oh supérieur à Y Ce processus se poursuit jusqu'à ce que la boucle soit terminée, ce qui donne le nombre de chemins les plus courts et leurs poids correspondants entre les stations d'origine et de destination données.

3.2. Algorithme

génétique L'algorithme génétique (GA) a été proposé par John Holland dans les années 1970. Il s'agit d'un algorithme d'optimisation intelligent qui applique le principe évolutif de « survie du plus fort » issu de la nature pour résoudre des problèmes d'optimisation. Il s'agit d'un algorithme itératif qui recherche la solution optimale et est connu pour sa large applicabilité, son efficacité et ses bonnes performances globales [39].

En combinant le modèle d'optimisation de synchronisation de réseau et de planification mentionné ci-dessus, en concevant davantage un algorithme génétique pour le problème de recherche, le processus de conception spécifique est le

suivant : 1. Encodage des solutions : le modèle d'optimisation de réseau et de synchronisation établi dans ce chapitre sert principalement à déterminer les gares, l'ordre et les intervalles de départ de chaque ligne de bus du réseau de bus. Par conséquent, il est nécessaire de coder les stations, l'ordre et les intervalles de départ de chaque itinéraire comme variables de décision. Le codage des solutions utilise la méthode de codage à virgule flottante, qui convient au codage d'algorithmes génétiques avec de grandes plages, des exigences de haute précision et de grands espaces de recherche génétique. Il est particulièrement efficace pour le problème de grande dimension des stations de réseau à grande échelle dans cette étude. La méthode initiale de construction de solutions dans cet article est la suivante : (1) Détermination des dimensions des variables de

décision : lors de l'exécution d'opérations de codage pour les solutions, il est nécessaire de d'abord déterminer les dimensions des variables de décision.

Dans le cas de cette étude où les stations du réseau et les intervalles de départ des lignes de bus sont fixés comme variables de décision, les dimensions des variables de décision sont déterminées par le nombre de stations n et le nombre de lignes K (correspondant aux intervalles de départ respectifs pour chaque itinéraire). La détermination du nombre de stations sur chaque itinéraire est basée sur des facteurs tels que la longueur de l'itinéraire et la distance moyenne entre les stations.

En règle générale, le nombre de stations sur une ligne de bus est défini entre 15 et 30. Le nombre spécifique de stations doit être défini en fonction de la conception réelle de la longueur de l'itinéraire et de la distance moyenne entre les stations, n désignant le nombre de stations. La détermination du nombre d'itinéraires est généralement basée sur le produit du nombre de stations sur chaque itinéraire et correspond généralement à 1 à 2 fois la différence entre le nombre total de stations du réseau de bus et le nombre de stations sur chaque itinéraire. Dans ce cas, le nombre d'itinéraires est noté K . Outre les stations du réseau, les variables de décision incluent également la définition des intervalles de départ pour chaque itinéraire, avec des dimensions cohérentes avec le nombre d'itinéraires K . Par conséquent, la dimension des variables de décision dans cette étude est définie comme : $K \times n + K$. Au cours du processus d'optimisation proprement dit du réseau, le nombre final de gares et d'itinéraires doit être déterminé davantage par le concepteur du réseau de transport en commun en fonction des exigences réelles.

(2) Sélection des stations d'itinéraire Après avoir déterminé le nombre de stations et d'itinéraires dans le réseau, la plage du nombre d'itinéraires de bus et de stations correspondantes est également définie. Pour améliorer encore l'efficacité des calculs et faciliter les opérations ultérieures, les stations de chaque itinéraire sont sélectionnées pour construire des solutions initiales réalisables avec une bonne adéquation.

Le processus spécifique est le suivant : (a) Réglage de la première et de la dernière stations : La méthode de sélection de la roulette est utilisée pour sélectionner la première et la dernière station des itinéraires. La demande de passagers pour chaque gare OD est convertie en une proportion de la demande totale de passagers, et cette proportion est utilisée comme probabilité de définir l'OD comme première et dernière gare d'un itinéraire. K paires de OD sont sélectionnées en fonction de ces probabilités pour servir de première et dernière stations de chaque itinéraire. (b) Paramétrage des stations intermédiaires : Après avoir déterminé la première et la dernière station des itinéraires, les distances entre toutes les autres stations du réseau et la première et la dernière station sont calculées. La station avec la somme minimale des distances jusqu'à la première et à la dernière station est définie comme station intermédiaire. Ensuite, les distances entre les stations restantes et la station intermédiaire et la dernière station sélectionnées sont calculées, et la station avec la somme minimale de distances est définie comme station intermédiaire suivante. Ce processus se poursuit jusqu'à ce que $n-2$ stations intermédiaires soient sélectionnées pour chaque itinéraire.

(3) Représentation du réseau de transport en commun : Après avoir déterminé les dimensions des variables de décision et sélectionné les stations d'itinéraire, cette étude représente la solution en deux parties pour représenter le réseau de transport en commun. La première partie consiste à déterminer et ordonner les gares pour chaque ligne de bus, et la deuxième partie correspond aux intervalles de départ pour chaque ligne. Par exemple, la solution « 12345678959678432518 » représente un schéma de réseau composé de deux lignes de bus avec neuf stations chacune. Dans cette représentation, la première partie « 123456789 » et « 967843251 », respectivement, représentent les deux itinéraires comme « 1-2-3-4-5-6-7-8-9 » et « 9-6-7-8 ». -4-3-2-5-1" ; la deuxième partie « 5 » et « 8 » rep

intervalles pour les deux itinéraires de 5 min et 8 min, respectivement. La détermination des stations pour chaque itinéraire du réseau suit le processus de sélection décrit à l'étape (2). De plus, les intervalles de départ pour chaque itinéraire sont générés de manière aléatoire dans une plage de 5 min à 15 min.

(4) Cette méthode de codage détermine d'abord les dimensions du réseau, le nombre de lignes de bus et le nombre de stations pour chaque ligne. En sélectionnant les gares pour chaque itinéraire et en générant aléatoirement les intervalles de départ correspondants, il détermine les gares et les intervalles de départ pour chaque itinéraire du réseau initial. En conséquence, les solutions initiales construites sont des solutions réalisables avec une relative bonne adéquation, réduisant considérablement la complexité du calcul. De plus, cette méthode de codage garantit la faisabilité des solutions tout au long des opérations ultérieures de l'algorithme génétique, éliminant ainsi la génération de solutions irréalisables.

2. Initialisation de la population : suivant le format de construction des solutions initiales de l'étape 1, les individus sont générés aléatoirement pour la population, la génération aléatoire étant répétée en fonction de la taille de population définie. La population est représentée par $P = x_i = 1, 2, \dots, \mu$, où μ est la taille de la population, et chaque individu est i représenté par x où n est la dimension des variables de décision, plus précisément la somme du nombre de stations pour chaque itinéraire et du nombre d'itinéraires dans le réseau.

$$x_i = x_1, x_2, \dots, x_n,$$

3. Évaluation de la condition physique : prenez les variables de décision déterminées lors de l'initialisation et saisissez-les dans le modèle d'optimisation synchronisé pour le réseau et la planification. Calculez le coût du temps des passagers et le coût d'exploitation des transports publics sous ce réseau initial, en obtenant la valeur de la fonction objectif. Le modèle construit dans cet article vise à minimiser le coût du temps passé par les passagers et le coût d'exploitation des transports publics. L'aptitude de chaque individu est évaluée sur la base de la valeur minimale de la fonction objectif.

4. Sélection : Dans cette étude, la méthode de sélection à la roulette est utilisée pour sélectionner les individus dans la population. Le principe de cette méthode de sélection est de calculer la probabilité qu'un individu apparaisse dans la génération suivante en fonction de sa valeur de fitness. Les individus sont ensuite sélectionnés pour former la population de progéniture en fonction de cette probabilité. L'avantage de cette méthode est que les individus ayant de meilleures valeurs de condition physique ont une plus grande probabilité d'être sélectionnés.

5. Croisement : une fois l'opération de sélection effectuée sur la population, un croisement en un seul point est effectué à l'aide de points de croisement générés aléatoirement.

6. Mutation : Les individus de la population sont soumis à des opérations de mutation basées sur la probabilité de mutation P_m . Pour les individus subissant une mutation, une position de mutation aléatoire est sélectionnée et la mutation est réalisée à l'aide de la méthode de mutation par échange en deux points.

4. Exemple d'analyse 4.1.

Introduction à l'étude de cas

4.1.1. Introduction aux données

(1) Données du site et OD

L'étude de cas présentée dans cet article se concentre sur cinq lignes de bus passant par les deux gares (de la station 98 à la station 101) avec le trafic répété le plus élevé dans une certaine zone de la ville de Guangzhou. Le cas retenu comprend au total 134 gares sur le réseau, dont 102 gares sur le réseau routier. Parmi ceux-ci, il y a 38 stations dans le district de Haizhu, 7 dans le district de Baiyun, 13 dans le district de Liwan, 7 dans le district de Yuexiu, 13 dans le district de Tianhe et 24 dans le district de Panyu. Il y a 18 stations qui apparaissent plusieurs fois dans le réseau, principalement situées dans les districts de Haizhu et de Liwan. Les cinq itinéraires sélectionnés traversent le segment routier entre la station 98 et la station 101.

La demande de passagers entre chaque gare est basée sur les données de balayage des cartes de passagers pendant les heures de pointe du matin (7h00-9h00) du 25 avril 2018, dans la ville de Guangzhou. Il y a un total de 10 302 paires OD parmi les stations sélectionnées, avec un total de 19 938 passagers.

gers. Parmi les couples OD dont la demande de passagers dépasse 100 personnes, le départ les stations sont principalement concentrées dans le district de Haizhu et le district de Yuexiu, tandis que les stations de destination sont principalement concentrées dans le district de Tianhe, le district de Panyu et Haizhu. District. Parmi ceux-ci, la demande de passagers la plus élevée se situe entre la gare 101 et la gare 35, avec 371 passagers.

(2) Données réseau révisées

Après avoir affiné les données de base, l'étape suivante consiste à déterminer davantage les dimensions de la solution de réseau de bus sélectionnée. Après avoir analysé les données de base des cinq sélectionnés lignes de bus dans le cas du réseau optimisé, il a été constaté que la distance moyenne entre stations dans chaque itinéraire est de 668 m, avec une moyenne de 26,8 stations et une longueur moyenne d'itinéraire de 17,32 km. En règle générale, la longueur des lignes de bus urbains est comprise entre 10 km et 30 km, avec un nombre de stations fixé entre 15 et 30. Pour répondre aux besoins des voyageurs et les opérateurs, les concepteurs du réseau visent à maintenir le nombre de routes inchangé et essayer de maintenir la cohérence de la longueur des itinéraires et du nombre de stations avec les itinéraires d'origine pendant le processus d'optimisation. Par conséquent, les dimensions de la solution de réseau de bus sont déterminé comme suit : 5 itinéraires de 25 stations chacun.

Sur la base de l'introduction ci-dessus, la dimension des solutions dans ce réseau et le modèle d'optimisation de planification est fixé à 130 ; 5 lignes de 25 arrêts chacune, totalisant 125 arrêts dans le réseau ; et des intervalles de 5 minutes pour chaque ligne. La dimension de la matrice de contiguïté dans le Le réseau de transports publics réel-virtuel est la somme des arrêts du réseau routier et du réseau arrêts, totalisant 227.

4.1.2. Paramètres des paramètres

La prochaine étape consistera à construire un modèle d'optimisation synchronisé pour le bus réseau et planification basés sur des algorithmes génétiques, en mettant l'accent sur la détermination du paramètres du modèle et de l'algorithme.

(1) Paramètres du modèle

Dans cette étude, le coefficient de conversion λ est fixé à 0,5, car le coût du temps des passagers et le coût public les coûts d'exploitation du transport sont considérés comme tout aussi importants lors de l'optimisation processus. Sur la base du salaire moyen à Guangzhou en 2021 de 10 843 yuans, la valeur de ω est fixé à 36,1 yuans/h. Unifier le coût du temps passager et le coût d'exploitation des transports publics dans la fonction objectif (équation (13)) et éviter un écart significatif entre le coût du temps et coût d'exploitation, les deux sont convertis en un cycle quotidien à des fins de recherche. Selon le rapport annuel sur le développement des transports publics de Guangzhou en 2021, la vitesse moyenne des routes de la ville dans la zone urbaine centrale de Guangzhou en semaine est de 30,57 km/h, et la vitesse moyenne des bus V est fixée à 30,57 km/h. Sur la base d'un seul bus coûtant 3 millions yuans et une durée de vie moyenne des bus de 15 ans, le coût quotidien d'achat du véhicule M est fixé à 548,1 yuans/véhicule. Après avoir analysé les données d'exploitation du véhicule pour les itinéraires sélectionnés, le temps moyen d'arrêt de bus T_s pour les itinéraires sélectionnés est fixé à 36 s. Par conséquent, les valeurs des paramètres du modèle d'optimisation synchronisé proposé dans cette étude sont les suivants indiqué dans le tableau 1 ci-dessous :

Tableau 1. Paramètres du modèle d'optimisation synchronisé.

Paramètres	Valeur
Coefficient d'accentuation λ	0,5
Facteur de conversion de temps et de coût ω	45,1 RMB/h
Vitesse moyenne V	30,57 km/h
Coût unitaire de consommation kilométrique N	2,8/km
Temps de séjour moyen T_s	36 s
Coût d'acquisition du véhicule pour une journée M	548.1/véhicule
Longueur minimale du trajet l_{min}	10km
Longueur maximale du parcours l_{max}	30km
Intervalle minimum de départ f_{min}	5 minutes
Intervalle de départ maximal $f_{maximum}$	15 min

(2) Paramètres de l'algorithme

Sur la base de la situation réelle de sélection du réseau de lignes dans ce cas et de la détermination de la dimension variable de décision de ce cas comme 130 sur la base de l'analyse ci-dessus, les paramètres pertinents de l'algorithme génétique sont déterminés en fonction de la caractéristiques du modèle d'optimisation synchrone de la résolution du réseau de lignes de ce cas. Le paramétrage de la taille de la population : un nombre de populations trop petit peut entraîner des erreurs importantes, rendant les résultats incapables de converger ; une valeur trop grande augmentera la difficulté de résoudre le problème. Généralement, la taille de la population est fixée à 20 à 100 fois la dimension de la variable de décision. Dans ce cas, la taille de la population pour la dimension variable de décision du réseau de lignes de ce cas est fixée à 5 000. Définition du nombre d'itérations : Grâce à plusieurs essais de calcul, il a été constaté que les valeurs objectives convergeaient vers environ 150 000 itérations. Pour assurer la convergence des résultats, cet article augmente le nombre d'itérations à 200 000. Définition de la probabilité de croisement : Afin d'obtenir la méthode de croisement en un seul point consistant à échanger un seul segment de gène comme décrit dans le chapitre précédent, puisque le nombre de segments de gènes pour ce réseau de lignées est de 5, la probabilité de croisement P_c est définie sur 0,2. Définition de la probabilité de mutation : généralement, la probabilité de mutation est définie entre 0,0001 et 0,1. Dans cet article, la probabilité Nous atténuons l'impact des solutions invalides en construisant une fonction de pénalité.

Optimisation des paramètres : concernant le réglage de paramètres tels que la taille de la population, le nombre d'itérations, la mutation et la probabilité de croisement dans l'algorithme génétique conçu, en raison de la grande dimension et de la grande charge de calcul nécessaire à l'optimisation du réseau de lignes, sa résolution a pris près d'une journée. , et après 10 calculs, les résultats d'optimisation ont montré de bonnes performances. Cependant, en raison de capacités de calcul limitées, cet article n'a pas optimisé en profondeur les valeurs des paramètres de l'algorithme. Les valeurs spécifiques des paramètres de l'algorithme génétique conçus pour résoudre le modèle d'optimisation synchrone dans cet article sont présentées dans le tableau 2 comme suit :

Tableau 2. Paramètres liés à l'algorithme génétique.

Paramètres	Valeurs
taille de la population	5000
nombre d'itérations	200 000
probabilité de croisement	0,2
probabilité de mutation	0,01

En utilisant le réseau routier et les données de demande, les paramètres du modèle et les paramètres de l'algorithme mentionnés ci-dessus comme données de base, avec les paramètres de chaque station et les intervalles de départ de chaque itinéraire du réseau comme entrées, le modèle d'optimisation synchrone construit dans cet article sera résolu en utilisant l'algorithme pertinent conçu dans la section

4.2. Validation de l'efficacité

Sur la base des données du réseau routier et de la demande, ainsi que des paramètres de modèle et d'algorithme définis ci-dessus, résolvez le modèle d'optimisation synchrone du réseau et de la planification. Effectuez une optimisation par étapes sur le réseau de ce cas. Comparez et analysez les résultats d'optimisation synchrone avec les résultats d'optimisation par étapes pour valider l'efficacité du modèle d'optimisation synchrone et de l'algorithme conçu.

4.2.1. Analyse de l'efficacité des algorithmes

Cet article établit le schéma d'aménagement optimal du réseau de bus parmi les stations sélectionnées, sur la base de la définition des poids entre les stations. Par la suite, une optimisation synchrone est réalisée sur le réseau de bus d'essai. Suivant l'algorithme conçu, le problème d'optimisation est résolu en continu pendant 10 itérations, produisant systématiquement la solution optimale pour le cas d'essai. La convergence de l'algorithme génétique conçu se produit autour de 150 000 itérations, les résultats ultérieurs restant inchangés. Dans les résultats de l'itération, bien que les meilleures valeurs de fonction objectif et la fonction objectif moyenne

les résultats ultérieurs restant inchangés. Dans les résultats de l'itération, bien que les meilleures valeurs de fonction objectif et les valeurs moyennes de fonction objectif dans chaque itération ne soient pas exactement égales, leurs valeurs sont assez proches. De plus, les valeurs dans chaque itération ne sont pas exactement égales, leurs valeurs sont assez proches. De plus, les grandes valeurs de l'axe Y dans le graphique font apparaître les différences entre les deux valeurs proches. les grandes valeurs de l'axe y dans le graphique rendent les différences entre les deux valeurs proches insignifiantes, ce qui entraîne les meilleures valeurs de fonction objectif et la fonction objectif moyenne insignifiant, ce qui fait que les meilleures valeurs de fonction objectif et les valeurs moyennes de fonction objectif semblent presque identiques sur le graphique. Le processus d'optimisation de l'algorithme est

les valeurs semblent presque identiques sur le graphique. Le processus d'optimisation de l'algorithme est illustré dans la figure 2.

illustré à la figure 2.

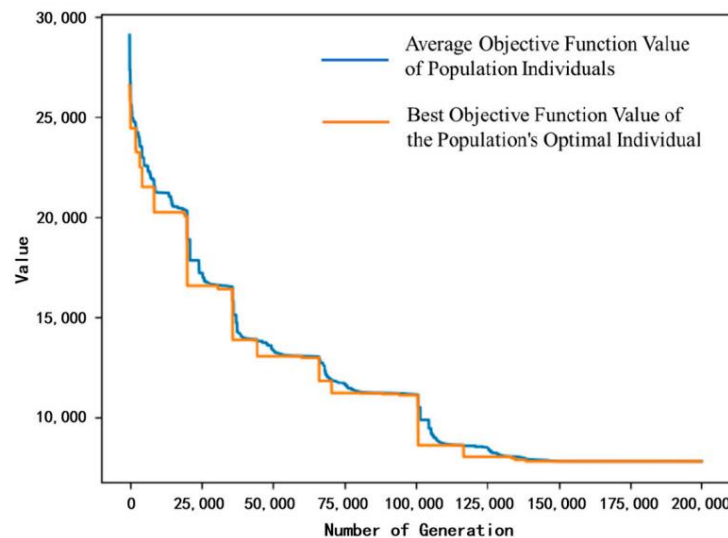


Figure 2. Processus d'optimisation des valeurs objectives.
Figure 2. Processus d'optimisation des valeurs objectives.

4.2.2. Analyse de l'efficacité du modèle

4.2.2. Analyse de l'efficacité du modèle

Pour valider davantage l'efficacité de l'optimisation synchrone du réseau et

[illegible]

En utilisant des algorithmes génétiques pour résoudre le modèle d'optimisation synchrone, le résultat final le résultat optimisé donne une valeur de fonction objectif optimale de 250 835,3 yuans. Les données les résultats pour les cinq lignes de bus correspondantes après optimisation synchrone sont présentés dans Tableau 3.

Tableau 3. Tableau de données des résultats de l'optimisation synchrone.

Numéro d'itinéraire	Gares routières	Départ Intervalle (min)	Taille de la flotte Configuration	Longueur de l'itinéraire (km)	Non linéaire Coefficient
1	7-99-71-27-100-11-92-45- 97-49-53-95-43-69-70-78- 88-21-89-51-41-54-77-14-8	12	8	18.4	1,39
2	77-50-14-8-44-18-101-98- 62-17-60-37-24-6-23-25- 12-38-61-19-56-57-65-102-73	8	dix	16,8	1.13
3	63-79-62-59-74-75-29-30- 52-32-13-81-82-94-93-36- 34-64-40-28-96-39-2-85-87	7	14	21,8	1,29
4	87-86-84-85-83-35-3-15- 40-22-72-31-55-1-26-80- 46-91-20-90-44-62-76-58-63	12	8	21.4	1,36
5	4-12-66-25-67-9-59-62- 10-48-33-5-98-101-18-16- 44-50-77-47-54-42-78-7-49	dix	8	19.5	1.23

À partir du graphique ci-dessus, nous pouvons voir les résultats de l'optimisation du réseau de bus et Planification. La longueur de chaque itinéraire du réseau est limitée à être comprise dans la plage de 10 km à 30 km ; les intervalles de départ des véhicules sur chaque itinéraire respectent la contrainte de 5 min à 15 min ; les stations de chaque itinéraire du réseau répondent aux normes non répétitives contrainte de gare ; et le coefficient non linéaire pour chaque itinéraire est inférieur à 1,4. Donc, nous concluons que les résultats de l'optimisation du réseau de bus et de la planification sont réalisable. La comparaison entre la carte thermique des fréquences de stations répétées avant et après optimisation, ainsi que le tableau comparatif du nombre d'itinéraires différents et les numéros de station répétés correspondants avant et après l'optimisation, sont affichés dans Figures 3 et 4, respectivement.

Appl. Sci. 2024, 14, x POUR EXAMEN PAR LES PAIRS

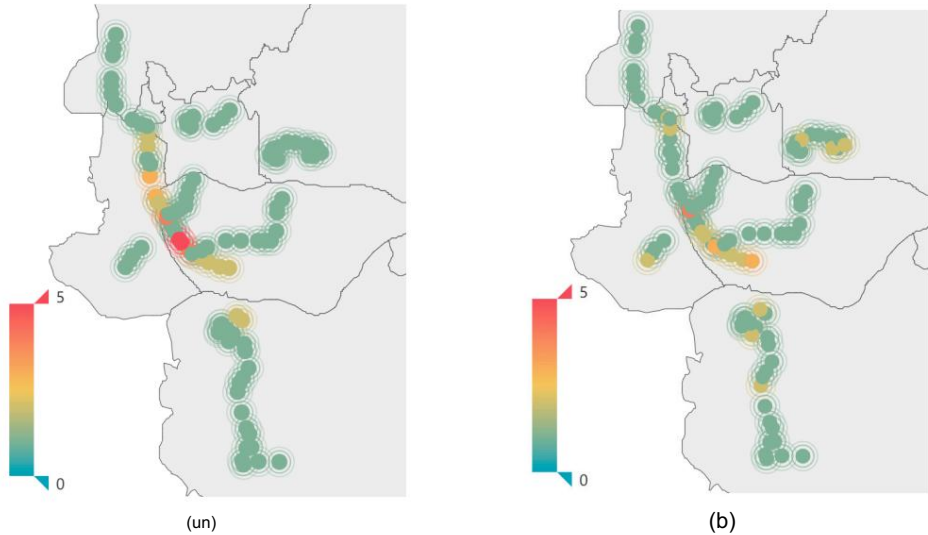


Figure 3. (a) Carte thermique optimisée des fréquences de stations répétées avant optimisation. (b) Opti- Figure 3. (a) Carte thermique optimisée des fréquences de stations répétées après optimisation.

25
20 20
18
15
dix
5

Figure 3. (a) Carte thermique optimisée des fréquences de stations répétées avant optimisation. (b) Carte thermique optimisée des fréquences de stations répétées après optimisation.

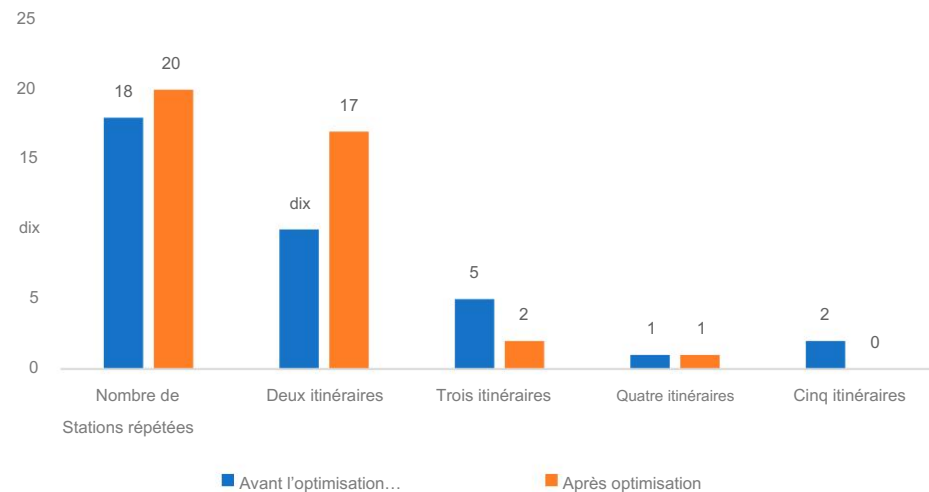


Figure 4. Tableau comparatif du nombre d'itinéraires différents et des stations répétées correspondantes

De la figure ci-dessus, nous pouvons voir que dans les stations du réseau de bus après synchronisation. À partir de la figure ci-dessus, nous pouvons voir que dans les stations du réseau de bus après l'optimisation synchrone, le nombre de stations existantes a diminué de cinq itinéraires à dix itinéraires, le nombre de stations existantes a été optimisé à zéro station. Le nombre de stations existantes sur trois est passé de cinq stations avant l'optimisation à deux stations. Le nombre de stations existantes sur deux itinéraires est passé de 10 stations à 17 stations. Le nombre de stations existantes sur deux itinéraires est passé de 10 stations à 17 stations. Les stations hautement optimisées du réseau ont considérablement diminué et les stations répétées du réseau sont principalement concentrées sur deux itinéraires, évitant ainsi la duplication excessive des itinéraires. Les stations répétées du réseau sont principalement concentrées sur deux itinéraires, évitant ainsi la duplication excessive des itinéraires et le gaspillage des ressources des bus, tout en répondant aux besoins de transfert des passagers pendant le voyage. Le gaspillage des ressources des bus, tout en répondant aux besoins de transfert des passagers pendant le voyage.

5. **Planification** Cet article propose un modèle d'optimisation synchrone du réseau de bus et

des discussions, en tenant compte des choix des passagers concernant les différents itinéraires au cours du voyage. Com- Cet article propose un modèle d'optimisation synchrone du réseau de bus et, comparé à des études antérieures, ce modèle affine davantage les coûts de temps d'attente des passagers et planification, en tenant compte des choix des passagers concernant les différents itinéraires au cours du voyage. prend en compte de manière globale le coût total du temps pour les passagers. Il analyse également statistiquement Par rapport aux études précédentes, ce modèle affine davantage les coûts de temps d'attente des passagers dans leurs choix de différents itinéraires afin de mieux refléter les scénarios du monde réel. Synchrones et prend en compte de manière globale le coût total du temps pour les passagers. Statistiquement, l'optimisation est également plus efficace que l'optimisation par étapes, mais elle présente encore des lacunes. lyse les choix des passagers concernant différents itinéraires pour mieux refléter les scénarios du monde réel. Synchronisation - qui nécessitent encore des améliorations dans les recherches futures. Les améliorations dans les recherches futures peut être réalisé sous plusieurs aspects :

- (1) Prise en compte des taux d'occupation des véhicules : L'article suppose que les passagers peuvent tous monter à bord des véhicules de l'itinéraire cible en attendant et n'impose pas de capacité limites sur les bus. Des recherches ultérieures peuvent introduire des restrictions sur la capacité des bus, de sorte que lorsque les bus atteignent leur pleine capacité, les passagers doivent attendre le prochain bus. Cette considération peut être intégrée au processus d'optimisation pour tenir compte des Taux d'occupation.
- (2) Intégration entre les bus et le transport ferroviaire : l'article se concentre uniquement sur les itinéraires de bus **déploiement et n'optimise pas la relation entre les lignes de bus et les réseaux ferroviaires.** Avec le développement rapide du transport ferroviaire, il a un impact significatif sur les flux de passagers par bus, **Pourtant, l'étude de l'influence mutuelle entre le transport ferroviaire et les bus est limitée dans cet article.** Les recherches futures pourront analyser plus en détail les données de déplacement entre les bus et le transport ferroviaire, utiliser données d'exploitation des bus et données de trajet en métro pour étudier les changements de flux de passagers, optimiser le connexion entre les bus et le transport ferroviaire, et apporter des ajustements en temps opportun aux réseaux de bus maximiser l'utilisation des ressources de transport en commun.

6. Résumé

Sur la base de la construction réelle ou virtuelle du réseau de bus et en tenant compte temps d'attente et à bord, ce document prend en outre en compte l'impact des passagers

sélection d'itinéraire pendant le voyage et établit un modèle d'optimisation synchrone du réseau de bus et de la planification. En effectuant séparément l'optimisation synchrone et l'optimisation par étapes sur le réseau de cas, les résultats indiquent que l'optimisation synchrone est plus efficace que l'optimisation par étapes pour réduire les coûts de temps des passagers et les coûts d'exploitation des bus.

Les coûts liés au temps passé par les passagers ont diminué de 21,5 %, les coûts d'exploitation des bus de 13,7 % et les coûts globaux du système de bus ont diminué de 18,0 %. Cependant, la complexité de calcul du modèle proposé augmente rapidement avec le nombre de stations. Par conséquent, il ne convient actuellement qu'à l'optimisation des itinéraires de bus dans les zones urbaines locales. Les recherches futures se concentreront sur la manière de l'appliquer à des réseaux à véritablement grande échelle.

7. Brevets

Les résultats de cette étude ont été utilisés pour déposer une demande de brevet d'invention chinoise.

Contributions des auteurs : Conceptualisation, LZ (Liang Zou) et HC ; méthodologie, HC et XY ; logiciel, XY ; validation, XY ; analyse formelle, LZ (Lingxiang Zhu) ; enquête, SC ; ressources, LZ (Liang Zou) ; conservation des données, XY ; rédaction : préparation du brouillon original, XY et LZ (Lingxiang Zhu) ; rédaction – révision et édition, KC et XY ; visualisation, LZ (Lingxiang Zhu) et HC ; supervision, LZ (Liang Zou) ; acquisition de financement, LZ (Liang Zou) Tous les auteurs ont lu et accepté la version publiée du manuscrit.

Financement : Ce travail est soutenu par le projet de plan scientifique et technologique de Shenzhen (No. KJZD20230923115223047) et projet de plan de soutien stable à l'enseignement supérieur de Shenzhen (n° 20231123103157001).

Déclaration de disponibilité des données : Les données utilisées pour étayer les conclusions de cette étude sont disponibles sur demande auprès de l'auteur correspondant.

Conflits d'intérêts : l'auteur Xi Yu était employé par la société Hangzhou Chuangtou Film and Television Co., Ltd. Les autres auteurs déclarent que la recherche a été menée en l'absence de toute relation commerciale ou financière qui pourrait être interprétée comme un conflit d'intérêts potentiel. .

Les références

1. Pu, H. ; Li, Y. ; Ma, C. Analyse topologique du réseau de transports publics de Lanzhou basée sur la théorie des réseaux complexes à double couche. Phys. Une statistique. Mécanique. Son application. 2022, 592, 126694. [\[Réf. croisée\]](#)
2. Rao, KR ; Mitra, S. ; Szmerkovsky, J. Sélection de la structure du réseau de transport en commun avec des objectifs multiples. Int. J. Opér. Rés. Inf. Système. 2021, 12, 13. [\[Réf. croisée\]](#)
3. Petit, A. ; Yildirimoglu, M. ; Géroliminis, N. ; Ouyang, Y. Conception d'un réseau de voies de bus dédiées dans un contexte de détournement de la demande et de congestion dynamique du trafic : un réseau agrégé et une approche de modèle d'approximation continue. Transp. Rés. Partie C 2021, 128, 103187. [\[Référence croisée\]](#)
4. Farahani, RZ ; Miandoabchi, E. ; Szeto, Wyoming ; Rashidi, H. Un examen du problème de conception des réseaux de transport urbain. EUR. J. Opér. Rés. 2013, 229, 281-302. [\[Référence croisée\]](#)
5. Zhang, L. ; Lu, J. ; Yue, X. ; Zhou, J. ; Li, Y. ; Wan, Q. Une méthode d'optimisation auxiliaire pour un réseau complexe de routes de transport en commun basé sur la prédiction de lien. Mod. Phys. Lett. B 2018, 32, 1850066. [\[Réf. croisée\]](#)
6. Klier, MJ ; Haase, K. Optimisation du réseau de transport public urbain avec demande flexible. Ou Spectre. 2015, 37, 195-215. [\[Référence croisée\]](#)
7. Yin, J. ; D'Ariano, A. ; Wang, Y. ; Yang, L. ; Tang, T. Coordination des horaires dans un réseau de transport ferroviaire avec une demande de passagers dépendant du temps . EUR. J. Opér. Rés. 2021, 295, 183-202. [\[Référence croisée\]](#)
8. Liang, M. ; Wang, W. ; Dong, C. ; Zhao, D. Une conception coopérative d'optimisation coévolutive du réseau de transport urbain et fréquences de fonctionnement. Système expert. Appl. 2020, 160, 113736. [\[Réf. croisée\]](#)
9. Wang, C. ; Ouy, Z. ; Wang, W. Une optimisation multi-objectifs et une approche heuristique hybride pour la conception de réseaux de lignes de bus urbains. Accès IEEE 2020, 8, 2154-2167. [\[Référence croisée\]](#)
10. Huang, A. ; Dou, Z. ; Qi, L. ; Wang, L. Optimisation d'itinéraires flexibles pour un service de transport en commun répondant à la demande. J. Transp. Ing. Partie A Système. 2020, 146, 04020132. [\[Réf. croisée\]](#)
11. Gong, M. ; Hu, Y. ; Chen, Z. ; Li, X. Conception de systèmes de bus modulaires personnalisés basés sur les transferts avec optimisation de l'affectation des itinéraires des passagers . Transp. Rés. Logiste de la partie E. Transp. Rév. 2021, 153, 102422. [\[CrossRef\]](#)
12. Yang, J. ; Jiang, Y. Application du NSGA-II modifié au problème de conception du réseau de transport en commun. J. Adv. Transp. 2020, 2020, 3753601. [\[Référence croisée\]](#)
13. Yao, E. ; Liu, T. ; Lu, T. ; Yang, Y. Optimisation de la planification des véhicules électriques avec plusieurs types de véhicules dans les transports publics. Soutenir. Villes Soc. 2020, 52, 101862. [\[Réf. croisée\]](#)

14. Guo, R. ; Antunes, F. ; Zhang, J. ; Yu, J. ; Li, W. Optimisation conjointe de l'avancée et du nombre d'arrêts pour le transport rapide par bus bilatéral. PLoS ONE 2024, 19, e0300286. [\[Référence croisée\]](#) [\[Pub Med\]](#)
15. Li, Wyoming ; Gao, BQ ; Lian, G. Méthode de planification du réseau de bus de microcirculation basée sur le clustering hiérarchique. Heilongjiang Transp. Sci. Technologie. 2021, 44, 166-168.
16. Shi, XW ; Su, PT ; Zou, YJ ; Shao, LX Recherche sur l'optimisation du réseau de bus conventionnel pour la connexion au transport ferroviaire sur le modèle d'étiquetage du chemin le plus court. Calculer. Appl. Rés. 2020, 37, 1–8.
17. Huang, M. Analyse multiniveau de la structure topologique du réseau de bus. Haute. Transp. Technologie. 2010, 27, 93-99.
18. Yigit, F. ; Basilio, député ; Pereira, V. Une approche hybride pour l'optimisation basée sur plusieurs critères de la configuration dépendante de la séquence-Planification Flow Shop basée. Mathématiques 2024, 12, 2007. [\[CrossRef\]](#)
19. Ren, H. ; Chanson, Y. ; Longue, J. ; Si, B. Un nouveau modèle d'affectation de transit basé sur des stratégies de lignes et de nœuds. Transp. Rés. Partie B 2021, 150, 121-142. [\[Référence croisée\]](#)
20. Shi, Q. ; Zhang, K. ; Weng, J. ; Dong, Y. ; Maman, S. ; Zhang, M. Modèle d'évaluation du schéma d'optimisation des itinéraires de bus basé sur des données de bus multi-sources. Transp. Rés. Interdiscipline. Perspective. 2021, 10, 100342. [\[CrossRef\]](#)
21. Fan, W. ; Machemehl, RB Tabu stratégies de recherche pour l'optimisation du réseau de transports publics avec une demande de transport en commun variable. Calculer. A aidé Civ. Infrastructurer. Ing. 2008, 23, 502-520. [\[Référence croisée\]](#)
22. Huang, D. ; Gars.; Wang, S. ; Liu, Z. ; Zhang, W. Un modèle d'optimisation en deux phases pour le bus personnalisé répondant à la demande conception de réseau. Transp. Rés. Partie C émergente. Technologie. 2020, 111, 1-21. [\[Référence croisée\]](#)
23. Li, X. ; Wang, T. ; P'tit.; Feng, F. ; Wang, W. ; Cheng, C. Optimisation conjointe du calendrier du réseau de transport en commun par autobus électriques à recharge régulière et du déploiement de chargeurs fixes en tenant compte de la politique de recharge partielle et des prix de l'électricité en fonction de l'heure d'utilisation. J.Adv. Transp. 2020, 2020, 8863905. [\[Réf. croisée\]](#)
24. Steiner, K. ; Imich, S. Planification stratégique pour les réseaux intégrés de mobilité à la demande et de bus publics urbains. Transp. Sci. 2020, 54, 1616-1639. [\[Référence croisée\]](#)
25. Chai, S. ; Liang, Q. Un algorithme NSGA-II amélioré pour la conception du réseau de transport en commun et le problème de réglage de la fréquence. J.Adv. Transp. 2020, 2020, 2895320. [\[Réf. croisée\]](#)
26. Wei, M. ; Liu, T. ; Soleil, B. ; Jing, B. Modèle intégré optimal pour la conception d'itinéraires de transport en commun et problème de réglage de la fréquence avec la sélection des arrêts. J.Adv. Transp. 2020, 2020, 6517248. [\[Réf. croisée\]](#)
27. Tang, Z. ; Hu, X. ; Périaux, J. Méthodes d'optimisation hybridées multi-niveaux couplant la recherche locale déterministe et globale Recherche des algorithmes évolutifs. Cambre. Calculer. Méthodes Ing. 2019, 27, 939-975. [\[Référence croisée\]](#)
28. Kuan, SN; Ong, HL; Ng, KM Résoudre le problème de conception du réseau de bus d'alimentation par des algorithmes génétiques et l'optimisation des colonies de fourmis. tiorL. Av. Ing. Logiciel. 2006, 37, 351-359. [\[Référence croisée\]](#)
29. Ngamchai, S. ; Lovell, DJ Transfert de temps optimal dans la conception d'un réseau de lignes de bus à l'aide d'un algorithme gengtique. J. Transp. Ing. Asce 2003, 129, 510-521. [\[Référence croisée\]](#)
30. Bourbonnais, PL; Morency, C. ; Trépanier, M. ; Martel-Poliquin, É. Conception d'un réseau de transport en commun à l'aide d'un algorithme génétique avec un réseau routier intégré et des données désagrégées sur la demande O–D. Transports 2021, 48, 95-130. [\[Référence croisée\]](#)
31. Ding, JX; Zhong, YW ; Li, B. ; Zhang, S. Recherche sur l'optimisation du réseau de bus basée sur l'algorithme amélioré du chemin le plus court K. Université J. Hefei. Technologie. 2019, 42, 1388-1393+1423.
32. Luo, XL ; Jiang, SY Conception d'un réseau de bus de banlieue basé sur le clustering K-means. Haute. Transp. Technologie. 2018, 35, 115-120+134.
33. Gao, MON ; Shi, HG Optimisation des itinéraires de bus de desserte ferroviaire basée sur un algorithme PSO amélioré. J. Transport routier. Ing. Inf. 2019, 17, 49-54.
34. Xin, Y. ; Huo, YM Modèle d'optimisation du réseau de bus multi-objectifs basé sur l'algorithme NSGA-II pour le transport en commun à la demande. Intégré. Transp. 2022, 44, 68-72.
35. Wang, N. ; Cao, WZ; Chu, XL Optimisation des itinéraires de bus de desserte ferroviaire à l'aide d'un algorithme génétique cellulaire. Transp. Technologie. Écon. 2018, 20, 13-18.
36. Yu, LJ; Liang, député Conception d'optimisation du réseau de bus urbain conventionnel basée sur une programmation non linéaire entière. J. Chine Highw. 2016, 29, 108-115+135.
37. Wu, optimisation du chemin du réseau de bus KX basée sur un algorithme amélioré de colonie de fourmis. Micro-ordinateur. Appl. 2021, 37, 134-136.
38. Yen, JY Trouver les k chemins sans boucle les plus courts dans un réseau. Gérer. Sci. 1971, 17, 712-716. [\[Référence croisée\]](#)
39. Holland, JH Algorithmes génétiques. Sci. Suis. 1992, 267, 44-50. [\[Référence croisée\]](#)

Avis de non-responsabilité/Note de l'éditeur : Les déclarations, opinions et données contenues dans toutes les publications sont uniquement celles du ou des auteurs et contributeurs individuels et non de MDPI et/ou du ou des éditeurs. MDPI et/ou le(s) éditeur(s) déclinent toute responsabilité pour tout préjudice corporel ou matériel résultant des idées, méthodes, instructions ou produits mentionnés dans le contenu.