

Évolution et perspectives de la recherche sur la planification des espaces souterrains urbains en Chine

TANG Yuqing, YE Zi

Résumé : Le développement des espaces souterrains urbains constitue un moyen essentiel d'optimiser la structure spatiale, de perfectionner les infrastructures et de renforcer la résilience urbaine. Il représente un levier important pour atteindre les objectifs de durabilité et de bas carbone dans les villes, et sa planification scientifique suscite un intérêt croissant. Dans ce contexte, cette étude utilise le logiciel CiteSpace et la base de données académique chinoise CNKI pour analyser systématiquement les progrès, les thématiques dominantes et les tendances de la recherche sur la planification des espaces souterrains urbains en Chine entre 1995 et 2024. Les résultats révèlent un développement concerté entre la planification spatiale, l'évaluation intégrée en amont et la mise en œuvre gestionnaire en aval. Trois grandes étapes évolutives sont identifiées : la « phase d'exploration et de développement » (avant 2007), caractérisée par des recherches fondamentales et l'accumulation d'expériences pratiques ; la « phase de croissance rapide » (2008–2018), marquée par des avancées méthodologiques en matière de construction systémique, de coordination spatiale et de normalisation technique, tout en mettant l'accent sur le transport ferroviaire urbain, l'efficacité énergétique écologique et la garantie de sécurité ; et la « phase de développement de haute qualité » (depuis 2019), axée sur l'intégration de la planification souterraine dans le système national de planification de l'espace territorial au service du renouvellement urbain, ainsi que sur l'exploration d'une planification souterraine humaniste, verte, intelligente et résiliente. Enfin, la discussion porte sur les perspectives futures de la planification des espaces souterrains urbains sous les angles de la fonctionnalisation composite, de l'enclassement et du partage.

Mots-clés : espace souterrain urbain ; planification spatiale ; revue de littérature ; phase de développement

L'espace souterrain urbain désigne, de manière générale, l'ensemble des espaces situés sous la surface du sol. Du point de vue de la construction urbaine, il s'agit plus précisément des ouvrages souterrains utilisant l'espace comme support — c'est-à-dire l'espace souterrain au sens étroit du terme [1].

En tant que composante essentielle des ressources spatiales territoriales, les espaces souterrains urbains chinois ont joué un rôle crucial à chaque étape de leur développement. Entre les années 1950 et les années 1980, ils étaient principalement dédiés à la défense civile. Depuis la réforme et l'ouverture, l'exploitation des espaces souterrains a progressivement évolué d'une phase dual-use (paix-guerre) centrée sur la défense civile vers une phase ordonnée de service à la construction urbaine. Au XXI^e siècle, les espaces souterrains ont assumé un rôle majeur dans l'amélioration de l'environnement écologique, l'optimisation de la structure spatiale et le renforcement de la résilience urbaine [2-4], passant d'un stade exploratoire à une phase de croissance rapide, avec une diversification accrue des recherches. Depuis 2019, dans le nouveau système de planification de l'espace territorial, la planification des espaces souterrains, en tant que planification spécialisée, doit concilier protection des ressources et mise en valeur, tout en renforçant l'orientation macroscopique et l'utilisation intensive des ressources souterraines [2]. Les espaces souterrains jouent également un rôle

irremplaçable dans la réalisation des objectifs « double carbone » et constituent un levier essentiel pour le développement durable des villes [3,5]. Leur contribution au développement urbain de haute qualité est de plus en plus reconnue par le public.

Il importe donc d'analyser l'évolution de la recherche sur la planification des espaces souterrains urbains en Chine afin d'en saisir les orientations, de tirer parti des résultats de recherche dans le cadre du système de planification de l'espace territorial, de s'adapter aux évolutions socio-économiques, institutionnelles et techniques, et de mieux servir la construction de villes habitables, résilientes et intelligentes.

1 Méthodologie et données de recherche

1.1 Source des données

Cette étude recourt au logiciel CiteSpace pour une analyse bibliométrique. Les documents proviennent de la base de données académique chinoise CNKI, avec des recherches combinant des termes tels que « exploitation et utilisation des espaces souterrains urbains » et « planification des espaces souterrains urbains ». La période de recherche s'étend de janvier 1995 — année à partir de laquelle un volume stable de publications est observé — à décembre 2024. En considération du niveau global et de l'influence des échantillons, seules les données issues des noyaux chinois (Peking Core) et de l'index des citations en sciences sociales chinoises (CSSCI) ont été retenues, soit 896 articles au total.

1.2 Délimitation thématique et sélection des données

Le processus d'exploitation des espaces souterrains urbains comprend principalement les étapes suivantes : prospection, évaluation, planification, construction, exploitation et maintenance. Il fait appel à des disciplines variées et interconnectées, notamment la géologie et le génie géologique, la géomatique, l'urbanisme, l'architecture et le génie civil. Chaque recherche privilégie un angle spécifique. La présente étude se concentre sur la perspective de la « planification spatiale » et sélectionne les documents liés à la planification de l'espace territorial et à l'urbanisme.

Après vérification systématique et élimination des doublons et des documents non pertinents, 674 articles ont été retenus. En utilisant une tranche temporelle d'un an pour l'analyse bibliométrique, la distribution annuelle des publications et son évolution sont présentées à la figure 1.

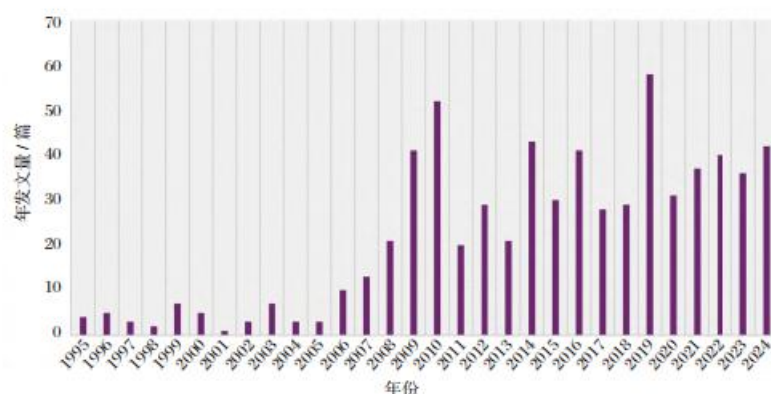


Fig.1 Nombre d'articles connexes publiés chaque année de 1995 à 2024

2 Analyse statistique globale de la recherche

2.1 Distribution temporelle des publications

L'exploitation des espaces souterrains urbains en Chine a progressivement été associée à la

construction urbaine à partir de 1987. En 1997, le Règlement sur la gestion de l'exploitation des espaces souterrains urbains a été promulgué, stipulant que « les gouvernements populaires à tous niveaux doivent, lors de l'élaboration du plan directeur urbain, établir un plan d'exploitation des espaces souterrains en fonction des besoins du développement urbain » [5]. C'est également à partir de cette période que les recherches sur la planification des espaces souterrains urbains se sont pleinement engagées.

Depuis 1995, la Chine publie chaque année un nombre stable de travaux de recherche, bien que le volume total reste limité. À partir de 2008 environ, le nombre de publications a augmenté de manière régulière, se maintenant à un niveau relativement élevé, avec des fluctuations lors des années marquées par des événements majeurs ou la promulgation de politiques importantes.

2.2 Distribution des institutions de recherche

La répartition des institutions de recherche reflète le degré d'intérêt des différentes organisations académiques pour les études relatives à la planification des espaces souterrains urbains. Une analyse globale par l'indice g (g-index) révèle que les 674 articles proviennent de 239 institutions académiques dans divers domaines, avec un réseau de coopération de 111 liens et une densité de 0,0039. En ne considérant que les institutions figurant dans les 5 % les plus fréquemment citées par tranche temporelle, on dénombre 88 institutions et 67 liens inter-institutionnels, avec une densité de réseau de 0,0175. Cela indique un nombre relativement important d'institutions impliquées, mais la densité de coopération entre les institutions « de pointe » est nettement supérieure à celle du réseau global, révélant une tendance à la concentration des collaborations parmi les institutions les plus actives, tandis que les collaborations entre institutions ordinaires demeurent relativement rares.

Comme indiqué dans le tableau 1, seules 7 institutions ont publié 10 articles ou plus, principalement des universités et des instituts de recherche. Ces institutions représentent 2,9 % du total, mais leurs publications cumulées constituent 17,4 % du volume total, ce qui démontre une distribution « à longue traîne » des institutions dans ce domaine.

Tableau 1 Statistiques des institutions de recherche en planification des espaces souterrains urbains (publications ≥ 10)

N°	Institution	Fréquence	Année de première publication
1	Centre de recherche sur les espaces souterrains de l'Université Tongji	32	1995
2	Département d'architecture et de génie souterrain, Université Tongji	29	2007
3	Centre de recherche géologique de Nanjing, China Geological Survey	13	2003
4	Institut général de conception et de recherche en	12	1999

	ingénierie municipale de Shanghai (Groupe) Co., Ltd		
5	Centre de recherche sur les espaces souterrains, Université polytechnique de l'Armée populaire de libération	11	2004
6	Collège d'architecture et d'urbanisme, Université polytechnique de Beijing	10	2010
7	Institut de conception et de recherche architecturale de l'Université Tongji (Groupe) Co., Ltd	10	2016

2.3 Distribution des chercheurs

En termes de volume de publications individuelles, les chercheurs ayant publié plus de 10 articles sont PENG Fangle, SHU Yu et QIAO Yongkang de l'Université Tongji, ainsi que CHEN Zhilong de l'Université d'ingénierie de l'Armée de terre de l'APL. L'analyse du réseau de co-occurrence des chercheurs à forte productivité (≥ 5 articles) révèle que les chercheurs d'un même réseau de collaboration appartiennent généralement à une même institution, avec des coopérations s'étendant sur plusieurs années. En dehors des chercheurs les plus productifs, les collaborations sont peu fréquentes et aucun autre réseau de co-occurrence étroit n'est observé.

La distribution temporelle des chercheurs met en évidence des caractéristiques de phase marquées : parmi les chercheurs représentatifs de la première période figurent QIAN Qihu, CHEN Zhilong, GUO Dongjun et SHU Yu, qui ont mené des recherches approfondies sur le développement, la prévention des catastrophes, le développement composite et la planification des espaces souterrains, posant les fondations de ce domaine et y contribuant de manière continue. Vers 2010–2020, de nouveaux chercheurs représentatifs ont émergé, notamment YUAN Hong, dont les travaux portent sur le système de gestion et les stratégies de planification des espaces souterrains, et QIAO Yongkang, dont les recherches combinent évolutions technologiques et tendances de la demande, couvrant le renouvellement urbain, les mutations et les modèles algorithmiques.

3 Analyse des tendances et thématiques dominantes

3.1 Vue d'ensemble des thématiques dominantes

La co-occurrence et la distribution temporelle des mots-clés permettent de retracer le développement académique du domaine de la planification des espaces souterrains urbains et d'en identifier les étapes. Dix mots-clés présentent une fréquence de co-occurrence ≥ 5 (tableau 2). À l'exception des espaces souterrains proprement dits, les mots-clés «

exploitation et utilisation », « transport ferroviaire urbain » et « ouvrages de défense civile » présentent une centralité relativement élevée. Compte tenu de leur persistance temporelle (fig. 2), ces thématiques ont fait l'objet de recherches continues depuis leur émergence, ce qui permet de conclure qu'elles demeurent des axes centraux de la planification des espaces souterrains.

La figure 3 présente un classement plus approfondi des mots-clés : la modularité Q du réseau est de 0,59, indiquant une structure de clusters significative ; le Mean Silhouette est de 0,98, attestant une forte homogénéité et une grande fiabilité des résultats de classement. Six clusters représentatifs sont identifiés, dont six groupes cohérents avec la distribution des mots-clés mentionnés [fig. 3(b)]. Au sein de chaque groupe, la distribution des mots-clés est plus diversifiée, avec l'apparition de termes secondaires tels que galerie technique intégrée, stratégie de développement, renouvellement urbain, développement coordonné et stratégies de planification. Cela illustre la diversification des approches de mise en œuvre et des orientations de recherche, intégrant les articulations avec les autres espaces urbains et les systèmes de planification, plutôt que de traiter l'espace souterrain comme un système isolé.

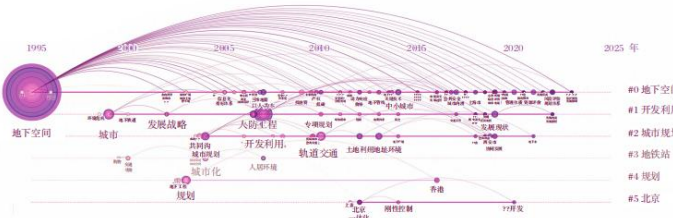


Fig.2 Vue chronologique des mots clés dans la recherche

Tableau 2 Statistiques des mots-clés dominants dans la recherche sur la planification des espaces souterrains urbains (fréquence ≥ 5)

N°	Mot-clé	Fréquence	Centralité	Année de première apparition
1	Espace souterrain	279	0,93	1995
2	Exploitation et utilisation	38	0,07	2007
3	Planification	16	0,05	2003
4	Ville	12	0	1999
5	Urbanisme	8	0	2004
6	Transport ferroviaire urbain	8	0,07	2010
7	Galerie technique intégrée	6	0,04	2016
8	Ouvrages de défense civile	5	0,07	2007
9	Espace public	5	0,05	2008
10	Axe de l'Expo	5	0,03	2009

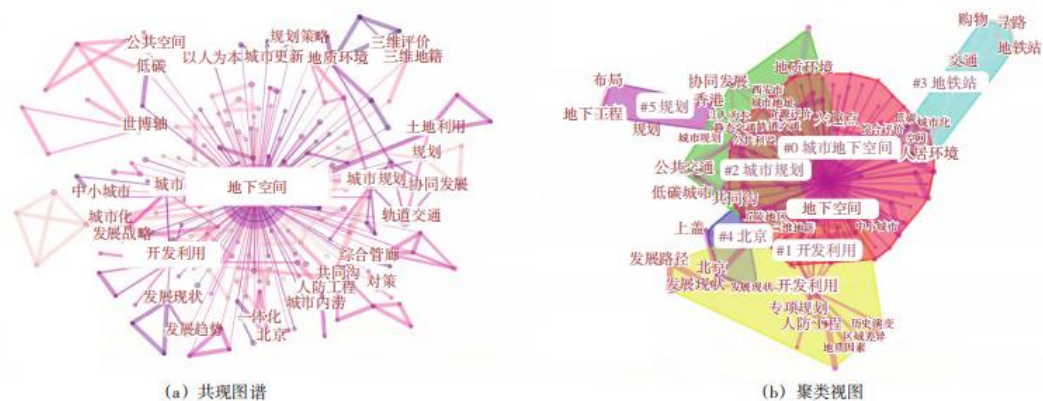


Fig.3 Carte de co-occurrence et vue de clustering

3.2 Évolution des thématiques dominantes

Sur la base de l'exploration initiale des thématiques dominantes, l'analyse des mots-clés à émergence soudaine permet de poursuivre l'étude de l'évolution de la planification des espaces souterrains urbains. En conservant les nœuds de documents les plus influents dans le diagramme temporel (fig. 2), et en combinant l'analyse de fréquence de certaines années représentatives (tableau 3) avec l'analyse des mots-clés à émergence (fig. 4), tout en considérant l'évolution du nombre annuel de publications, le diagramme temporel et les orientations politiques, une révision des contenus de recherche pour les années à faible volume de publications ou à caractéristiques de fréquence peu significatives permet de diviser la recherche en trois phases.

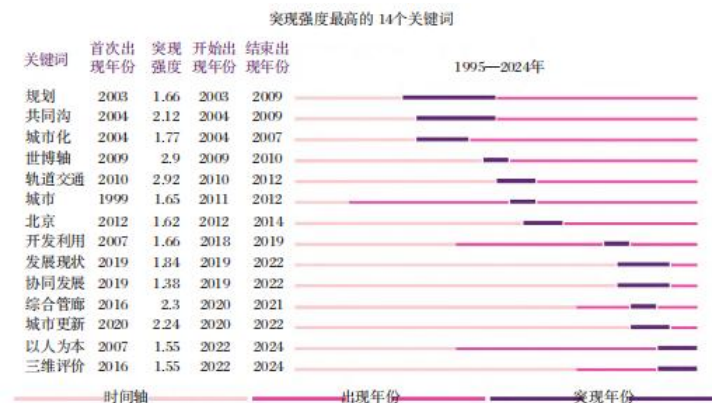


Fig.4 Vue d'éclatement des mots-clés dans la recherche

Tableau 3. Recherche de mots clés chauds à différentes périodes

Étape	Année de représentation	Mots clés principaux (Fréquence)
Phase I	2004	espace souterrain (7); Planification (3); Place urbaine (2)
	2009	espace souterrain (16); Développement et utilisation (4); Investissement et financement (3)
Phase II	2010	espace souterrain (16);

		Développement et utilisation (4); Investissement et financement (3)
	2013	espace souterrain (30); Axe Expo (4); Développement et utilisation (3); Transit ferroviaire (3); éclairage naturel (2); Écologie (2)
	2016	Espace souterrain (10); Prévention des catastrophes (4); Station de métro (2)
	2020	Espace souterrain (16); tunnel de services publics (3); Ville intelligente (2)
Phase III	2021	Espace souterrain (9); tunnel de services publics (3); Système de gestion (3); Rénovation urbaine (2)
	2022	Espace souterrain (12); Développement et utilisation (4); Évaluation des ressources (3); Tunnel utilitaire (2)
	2023	Espace souterrain (15); Stratégie de planification (5); Renouvellement urbain (3); Système de planification (3); Adaptation (2)
	2024	Espace souterrain (15); Prévention et réduction des catastrophes (3); Renforcement de la résilience (3); Cadastre 3D (2); Accueil urbain (2)

3.2.1 Avant 2007 : phase d'exploration et de développement

Cette phase couvre la période allant de l'émergence des premières recherches sur la planification des espaces souterrains urbains en Chine jusqu'à 2007 environ.

Avec la construction et l'ouverture de lignes de métro dans plusieurs villes, le transport ferroviaire urbain a été désigné comme priorité de la construction des transports urbains dès 2001, et la période du XI^e Plan quinquennal a été définie comme phase de lancement de la « planification et construction de métros et de trains légers » [6]. Les politiques ultérieures ont réaffirmé l'exigence d'un développement ordonné du transport ferroviaire urbain et l'ont intégré officiellement dans la stratégie de « priorité aux transports publics » [7]. Le métro a directement entraîné une croissance rapide de la taille des espaces souterrains urbains en Chine, rendant urgente une planification scientifique pour encadrer leur développement. Ce domaine de planification étant auparavant largement inexploré, cette phase s'est caractérisée par l'emprunt aux expériences internationales, notamment la planification et la construction du réseau souterrain de Montréal [8], le développement des espaces

souterrains de Tokyo [9], ainsi que l'extension aux principes directeurs, normes et mécanismes d'incitation [10].

Les recherches initiales se sont concentrées sur l'élaboration des plans. En raison du manque de visibilité directe et de la grande complexité des espaces souterrains, des méthodes spécifiques d'évaluation des ressources étaient nécessaires. Des travaux fondamentaux sur l'évaluation de la capacité d'exploitation ont été menés [11], un système d'indicateurs d'évaluation a été construit [12], le concept d'« évaluation de la qualité des ressources » a été introduit, et des méthodes d'évaluation floue combinée et de visualisation 3D ont été développées [13].

La mise en œuvre gestionnaire, finalité de la planification, requiert un soutien juridique. Tout en s'inspirant des cadres juridiques japonais en matière d'exploitation des espaces souterrains [14], des villes chinoises telles que Shenzhen ont engagé des réflexions sur la législation relative à l'utilisation des espaces souterrains, en particulier sur l'établissement de réglementations locales [15].

Sur le plan de la planification spatiale proprement dite, avec la définition des stratégies et objectifs de développement [16], la Chine a entamé des recherches sur les concepts et les approches techniques de planification de l'exploitation des espaces souterrains [4], et établi des systèmes d'indicateurs pour évaluer la planification, notamment les aspects liés au développement durable [17]. Parallèlement, des pratiques de planification des espaces souterrains pour des villes entières ou des zones prioritaires ont été initiées, incluant le plan conceptuel des espaces souterrains de Shanghai [18], le plan conceptuel du cœur de Qianjiang New City à Hangzhou [19], le contrôle de planification des espaces souterrains du quartier central des affaires de Huangdao à Qingdao [20] et le plan du réseau souterrain en forme de puits dans le cœur du CBD de Shanghai [21]. 3.2.22008–2018 : phase de croissance rapide

En 2008, la Loi sur la planification urbaine et rurale a été promulguée, comblant l'absence de dispositions sur les espaces souterrains dans l'ancienne Loi sur la planification urbaine, et stipulant que « l'exploitation et l'utilisation des espaces souterrains urbains doivent ... suivre les principes d'organisation globale, de développement intégré et d'utilisation rationnelle, en tenant pleinement compte des besoins de prévention des catastrophes, de défense civile et de communication ». Avec les Jeux olympiques de 2008 à Beijing et l'Exposition universelle de 2010 à Shanghai, le développement urbain chinois s'est accéléré, suivi de près par l'exploitation des espaces souterrains. La Loi sur les droits réels de 2007 a prévu que « les droits d'utilisation des terrains à construire peuvent être établis séparément en surface, au-dessus ou au-dessous du sol », renforçant encore la promotion du développement souterrain. Les espaces souterrains, en tant que nouvelle composante du développement urbain, ont été de plus en plus acceptés [22]. Vers 2014, la Chine était devenue une grande puissance mondiale en matière d'exploitation des espaces souterrains urbains [23].

Poursuivant les tendances de la phase précédente, face au développement massif de cette période, les recherches en amont ont intégré l'évaluation du développement à celle des ressources, incluant les caractéristiques et facteurs restrictifs de l'exploitation [24], l'évaluation du potentiel de développement [25] et l'évaluation de l'adéquation de l'exploitation [26].

Sur le plan de la gestion et de la mise en œuvre : sur la base de la Loi sur les droits réels et d'autres textes, les recherches se sont concentrées sur les attributs et les droits de propriété

des espaces souterrains [27], la combinaison des droits souterrains et de l'utilisation tridimensionnelle des terrains [28], l'analyse de la progression de la légalisation des espaces souterrains et la projection des tendances futures [29], ainsi que l'appel à une accélération de la législation et au renforcement de la durabilité urbaine [30]. Des études juridiques ont conduit à proposer un système de gestion intégrée [31] et à explorer les orientations de réforme du système de gestion [32].

Sur le plan de la planification spatiale, face à la vague de construction, de nombreuses études ont fleuri pour répondre au besoin urgent d'encadrement planifié.

Construction du système de planification. Sur la base des travaux relatifs à l'élaboration du système de planification et aux stratégies de mise en œuvre [33-34], un système à trois niveaux s'est progressivement constitué : premièrement, la proposition de changements conceptuels, d'articulation systémique, de priorités et de contenus principaux pour la planification souterraine dans le plan directeur [35] ; deuxièmement, l'attention portée au développement intégré des espaces souterrains et d'autres planifications spécialisées, notamment la défense civile [36], réalisant l'« intégration de deux plans » puis s'étendant à l'« intégration de plusieurs plans » ; troisièmement, face à la fièvre du développement, le contrôle du développement des espaces souterrains a été étudié [37], avec des applications concrètes dans des zones clés comme la première phase du cœur du quartier d'affaires de Hongqiao à Shanghai [38], le centre de Bao'an à Shenzhen [39] et l'île centrale de Maluan à Xiamen [40].

Coordination spatiale de la planification. La planification des espaces souterrains ne saurait se limiter à une approche souterraine isolée. Les théories de couplage multiple entre espaces souterrains et surfaces [41] et les méthodes de conception intégrée surface-souterrain [42] sont devenues des stratégies de développement efficaces, permettant notamment de compenser et de coordonner la protection des quartiers historiques et le renouvellement urbain [43-44]. Parallèlement au développement coordonné surface-sous-sol, il est nécessaire de rechercher l'unification des espaces souterrains avec les diverses planifications spécialisées, de perfectionner les mécanismes de gestion et le cadre juridique, de construire des plateformes d'information et de proposer des stratégies nationales de développement [5].

Amélioration des techniques de planification. Les techniques de planification de pointe se sont progressivement étendues de la surface aux espaces souterrains, avec des tentatives d'application du BIM au développement souterrain [45], la normalisation des données [46] et le développement de systèmes auxiliaires de planification tridimensionnelle [47].

Avec la maturation progressive des systèmes de planification, de la coordination spatiale et des techniques, cette phase a également vu émerger plusieurs orientations de recherche dominantes.

Orientation du transport ferroviaire. Les zones de gares de transport ferroviaire constituent le fer de lance du développement souterrain et le centre des recherches. Sur la base de l'évaluation du niveau de développement intégré des espaces souterrains autour des stations [48], les recherches ont porté sur les modèles de planification induits par le développement ferroviaire, incluant les modèles fondés sur le concept TOD [49], l'unification de la planification des gares souterraines et des espaces adjacents [50], le partage conjoint des systèmes de galeries techniques et de métro [51] et le contrôle du développement autour des stations [52].

Innovation en efficacité énergétique écologique. L'Exposition universelle de 2010 à Shanghai a favorisé l'innovation des concepts de planification souterraine. Lors de la construction de l'Axe de l'Expo et du complexe souterrain, une utilisation maximale des ressources du site et une économie d'énergie ont été réalisées [53], avec des caractéristiques d'écologie verte et de bas carbone [54]. Des moyens avancés ont été massivement employés : les « vallées de lumière » et les talus végétalisés ont introduit lumière naturelle et verdure dans les niveaux souterrains [55], tandis que les multiples fonctions du site ont été intégrées de manière organique, systématique et ordonnée dans le sous-sol [54], améliorant l'efficacité de l'utilisation des terres et la qualité de l'environnement spatial.

Sécurité spatiale. Avec le développement rapide et la concentration des flux de population dans les espaces souterrains, la question de la sécurité est devenue primordiale [56] : d'une part, il convenait de perfectionner les mesures de lutte contre les inondations [57] et d'assurer la fiabilité scientifique des conceptions de prévention incendie, en particulier dans les grands espaces souterrains [58] ; d'autre part, les espaces souterrains pouvaient servir à la prévention intégrée des catastrophes urbaines [59], renforçant la sécurité intrinsèque des villes et perfectionnant le système spatial de prévention [60].

3.2.3 Depuis 2019 : phase de développement de haute qualité

En 2019, les Opinions du Comité central du PCC et du Conseil des Affaires d'État sur l'établissement du système de planification de l'espace territorial et sa mise en œuvre supervisée ont prévu l'intégration de la planification souterraine dans le système de planification de l'espace territorial. La même année, les Normes de planification des espaces souterrains urbains ont été promulguées, encadrant l'élaboration des plans. Par la suite, les Orientations du Ministère des Ressources naturelles sur l'exploration et la promotion de l'exploitation des espaces souterrains urbains et d'autres politiques ont joué un rôle moteur important. Avec le passage d'une expansion extensive à une valorisation intensive, puis d'une croissance quantitative à une amélioration qualitative, les espaces souterrains, guidés par le développement urbain de haute qualité et animés par l'aspiration des populations à une vie meilleure, sont devenus un pôle de croissance urbain majeur [61].

En tant que précurseur du développement de haute qualité, l'évaluation en amont s'est orientée vers une approche intégrée et tridimensionnelle. Un système d'enquête et d'évaluation intégrée des ressources souterraines a été proposé [62], intégrant des modèles géologiques 3D et des méthodes d'analyse spatiale tridimensionnelle [63], permettant la fusion automatique de modèles géologiques 3D et de modèles d'ouvrages souterrains, et donnant lieu à une modélisation 3D pour l'évaluation des ressources [64], appliquée dans des contextes concrets. Shanghai, Shenzhen, Hangzhou, Nanjing et d'autres villes ont établi un « cadastre 3D », et des études ont été menées sur les problèmes spécifiques liés à l'exploitation des espaces souterrains dans les villes à géologie particulière [65].

Sur le plan de la gestion, l'accent s'est déplacé vers les rendements d'investissement et la gestion opérationnelle, alliant scientificité et opérabilité. Le développement souterrain requiert une gestion intégrée, une planification coordonnée, l'innovation des modèles de financement et de rendement [66], le renforcement de la gestion opérationnelle [67], le perfectionnement du système technique de gestion, l'établissement d'institutions administratives complètes, le renforcement du cadre juridique [68] et l'accélération de la construction d'un système de gouvernance des espaces souterrains [69].

Sur le plan de la planification spatiale, les recherches portent sur l'intégration de la

planification souterraine dans le système de planification de l'espace territorial [70]. Sur la base d'un état des lieux de l'élaboration et de la mise en œuvre des plans, les théories et méthodes sont perfectionnées [71], et les concepts de « quatrième territoire » et de « ligne rouge souterraine » sont promus [72]. Parallèlement, le renouvellement urbain [70] suscite une attention croissante : les Directives sur les politiques de planification et foncières pour soutenir le renouvellement urbain (édition 2023) encouragent l'exploitation intégrale des espaces souterrains conformément aux normes, le renforcement de la construction coordonnée et de l'utilisation composite surface-sous-sol, et l'amélioration de l'utilisation économe et intensive des terres. L'innovation souterraine se concentre sur le renouvellement urbain et la gestion fine [73]. Face à la séquence chronologique « d'abord la surface, puis le sous-sol » dans les zones de renouvellement, de nouvelles stratégies de planification sont nécessaires [74], afin de promouvoir le développement de haute qualité et l'utilisation durable [75], avec quatre orientations prioritaires :

Espace souterrain humaniste. Face à la sous-utilisation de certains espaces souterrains, à la faible expérience des usagers, à la brièveté des séjours et à la monotonie des activités [76], les tendances vers un environnement intérieur écologique et humanisé sont proposées [77], avec l'ambition d'élever davantage les standards esthétiques et de confort dans l'exploitation souterraine [78].

Espace souterrain vert. L'exploitation des espaces souterrains constitue une mesure importante pour atténuer les « maladies urbaines » et promouvoir le développement durable [79]. Il convient de délimiter des lignes rouges écologiques tridimensionnelles souterraines et de procéder à l'évaluation du potentiel des ressources [80], en mettant l'accent sur l'économie foncière, l'utilisation de la géothermie, l'économie d'eau et les infrastructures urbaines vertes, pour soutenir le développement de bâtiments et de villes verts [81].

Espace souterrain intelligent. En lien avec la construction du « cadastre 3D », des travaux de recensement et de gestion informatisée sont menés [82]. Centrés sur les données par blocs et le calcul en périphérie (edge computing), visant l'ensemble des éléments et de l'espace urbains, des infrastructures de collecte, de transmission et de traitement couvrant les scénarios intelligents en surface et en sous-sol sont déployées [83]. Le partage de l'information et l'innovation scientifique sont promus [67], l'accélération de la construction d'un système de gestion intelligente et la planification stratégique prospective du développement technologique sont engagées [75].

Espace souterrain résilient. De la sécurité spatiale à l'élévation de la résilience, face aux problèmes de sécurité dans la construction, l'exploitation et la gestion, une prévention multidimensionnelle — gestion, technique, réglementation et droit — est nécessaire [68]. Des stratégies de prévention sont élaborées dans l'optique de la « construction de villes résilientes » [84], un cadre intégré de prévention résiliente est construit [85], et en particulier dans les zones urbaines à haute densité où la vulnérabilité est significative, il convient de tirer pleinement parti des caractéristiques de prévention des espaces tridimensionnels, notamment souterrains, pour renforcer la résilience urbaine [86].

4 Conclusions et perspectives

4.1 Conclusions de l'étude

L'analyse statistique globale et celle des tendances dominantes montrent que la recherche sur la planification des espaces souterrains urbains en Chine est parvenue à maturité, avec

un développement interactif entre l'évaluation intégrée en amont et la mise en œuvre gestionnaire en aval. La phase d'exploration et de développement (avant 2007) a constitué le stade initial, axé sur les recherches fondamentales et l'accumulation d'expériences. La phase de croissance rapide (2008–2018), sous l'impulsion de l'urbanisation généralisée et des grands événements, a vu la recherche entrer dans une période florissante, avec des avancées méthodologiques en matière de construction systémique, de coordination spatiale et de normalisation technique, tout en se concentrant sur le transport ferroviaire, l'efficacité énergétique écologique et la sécurité, réalisant ainsi le passage d'une exploration fondamentale à une recherche intégrée. La phase de développement de haute qualité (depuis 2019), dans le contexte de l'édification du système de planification de l'espace territorial, a marqué l'entrée dans une nouvelle étape d'amélioration qualitative : premièrement, la recherche sur l'intégration de la planification souterraine dans le système de planification de l'espace territorial et son service au renouvellement urbain ; deuxièmement, l'exploration d'une planification humaniste, verte, intelligente et résiliente, rendant la planification plus complète, plus scientifique et plus pragmatique.

4.2 Perspectives futures

Avec l'établissement du système de planification de l'espace territorial et la délimitation des périmètres de développement urbain, les villes entrent dans une nouvelle phase dominée par le renouvellement du bâti existant. Combinées aux tendances identifiées, la planification des espaces souterrains, ainsi que l'évaluation intégrée en amont et la mise en œuvre en aval, connaîtront les évolutions suivantes.

L'évaluation intégrée des espaces souterrains deviendra une composante du « bilan de santé urbain ». Au-delà des études sur les éléments naturels et environnementaux, une attention accrue sera portée aux éléments de construction et culturels des zones de renouvellement, ainsi qu'aux espaces bâtis en surface. Il s'agira d'analyser comment l'exploitation souterraine peut éviter les impacts sur les espaces souterrains adjacents et les espaces supérieurs, ce qui requiert des informations spatiales plus précises et des évaluations d'adéquation au développement. Parallèlement, le bilan de santé des espaces souterrains existants et leur renouvellement permettront de valoriser le stock, répondant ainsi aux besoins urbains, en particulier dans les zones de renouvellement.

En matière de gestion, l'accent sera davantage mis sur l'apport fonctionnel et les bénéfices intégrés des espaces souterrains. Le renouvellement urbain constituera un enjeu majeur : les Directives pour l'élaboration des plans de renouvellement urbain prévoient la définition d'exigences de gestion conceptuelle à différentes échelles, l'intégration organique dans le processus complet de planification spécialisée, de planification de secteur et de mise en œuvre de projets, ainsi que l'inclusion des calculs financiers et des modèles opérationnels dans les projets. Les coûts de construction souterraine étant élevés, en particulier dans les zones de renouvellement où la sécurité des espaces adjacents et supérieurs doit être garantie, une étude approfondie des investissements, des rendements et de l'exploitation future est d'autant plus nécessaire.

Dans ce contexte, face à des exigences de gestion souterraine plus pragmatiques, fondées sur des méthodes d'évaluation intégrée plus avancées et des techniques de construction pleinement améliorées, plusieurs tendances de développement de la planification des espaces souterrains urbains sont attendues.

Fonctionnalité composite. Les espaces souterrains ont été intégrés au système de

planification spatiale à tous les niveaux. Les exigences antérieures en matière de contrôle orienté vers la surface devraient être entièrement étendues au sous-sol. Sur la base du "cadastre 3D" et de l'évaluation intégrée, en vue de la coordination surface-souterraine et de l'intégration de grands systèmes spécialisés, face à l'expansion des espaces souterrains à la profondeur, une attention sera accordée à la coordination entre les espaces profonds et peu profonds. L'intégration du facteur temps permettra de faire face à la chronologie du renouvellement et du développement souterrains, en construisant un système d'indicateurs spatiaux et un modèle de planification spécifique, formant une "carte unique" intégrant la surface, le souterrain, les différents niveaux souterrains, les grands systèmes et leur chronologie.

Enchâssement. Sur la base de l'évaluation intégrée du bilan de santé urbain, les besoins en espaces souterrains des villes, en particulier des zones de renouvellement, seront étudiés. En combinant la définition des droits d'exploitation souterraine par la Loi sur les droits réels et les méthodes matures d'évaluation de l'adéquation à la construction, une approche adaptée aux conditions locales et progressive permettra d'enchâsser dans le tissu urbain — principalement dans les zones de renouvellement — les fonctions difficilement satisfaites en surface : transports, logistique, infrastructures municipales, défense civile, afin d'atténuer la pénurie d'espace en surface et de libérer davantage de surface pour les activités publiques et la végétalisation. L'impact des espaces souterrains enchâssés sur l'environnement souterrain et l'ensemble du système spatial sera également pris en compte, afin de réaliser la synergie entre développement et protection, au service de la construction de villes humanistes et vertes.

Partage. La planification des espaces souterrains devra explorer le partage spatial de fonctions multiples afin de réduire les coûts, dynamiser les espaces et accroître les bénéfices. Sur cette base, des études seront menées pour encourager la construction et le partage conjoint des équipements souterrains entre parcelles voisines ou acteurs multiples, formant un réseau d'espaces souterrains interconnectés qui renforcera la résilience urbaine et étendra la vitalité et les bénéfices à l'ensemble de la ville. Le perfectionnement des systèmes de gestion interministériels et des plateformes de partage d'information, le renforcement du cadre juridique, l'utilisation efficace des mégadonnées souterraines et l'élimination des silos d'information [5] permettront de résoudre les asymétries d'information et d'élever globalement le niveau de précision et d'intelligence de la planification, de la construction et de la gestion des espaces souterrains.

En somme, face aux contraintes et aux possibilités d'offre spatiale future, aux besoins de développement et aux bénéfices intégrés, les modèles de planification composite, enchâssée et partagée contribueront à promouvoir une planification des espaces souterrains 多元融合 (diversifiée et intégrée), intensive et efficace, pragmatique et opérationnelle, verte et durable, au service de la planification globale du territoire tridimensionnel.

Références bibliographiques

- [1] PENG Jianbing, ZHU Hehua, LI Xiaozhao. Les solutions chinoises pour les espaces souterrains urbains à la nouvelle ère [J]. Earth Science Frontiers, 2019, 26(3): 1-2.
- [2] PENG Fangle, QIAO Yongkang, DONG Yunhao, et al. Recherche sur la stratégie de développement de l'exploitation des espaces souterrains urbains dans la nouvelle phase de développement [J]. Strategic Study of CAE, 2024, 26(3): 176-185.

- [3] WEI Lingxiang, GUO Dongjun, WU Yanhua, et al. Tendances et thématiques dominantes de la réponse des espaces souterrains chinois aux objectifs « double carbone » [J/OL]. Chinese Journal of Underground Space and Engineering. [2025-07-21]. <https://link.cnki.net/urlid/50.1169.TU.20250221.1018.004>.
- [4] SHU Yu, PENG Fangle, WANG Xuan, et al. Recherche et pratique de la planification des espaces souterrains urbains en Chine [J]. Chinese Journal of Underground Space and Engineering, 2006(Suppl. 1): 1125-1129.
- [5] ZHU Hehua, LUO Xiao, PENG Fangle, et al. Recherche sur la stratégie de développement de la planification des espaces souterrains urbains en Chine [J]. Strategic Study of CAE, 2017, 19(6): 12-17.
- [6] Commission nationale du plan de développement. Notification sur la publication du plan spécial de développement du système de transport intégré du XI^e Plan quinquennal [EB/OL]. [2025-02-21]. https://www.gov.cn/gongbao/content/2002/content_61816.htm.
- [7] Ministère de la Construction, Commission nationale du développement et de la réforme, Ministère des Sciences et Technologies, et al. Opinion sur la priorité au développement des transports publics urbains [EB/OL]. (2005-10-19) [2025-02-21]. https://www.gov.cn/zwjk/2005-10/19/content_79810.htm.
- [8] XU Yongjian, YAN Xiaopei. Exemple réussi d'utilisation des espaces souterrains urbains : planification et construction du réseau souterrain de Montréal [J]. Urban Problems, 2000(6): 56-58.
- [9] WANG Jianhong, LIU Xinrong. Aperçu du développement et de l'utilisation des espaces souterrains urbains au Japon [J]. Chinese Journal of Underground Space and Engineering, 2006(3): 349-353.
- [10] BESNER J. Planification totale ou méthode de contrôle ? Le cas du développement des espaces souterrains urbains à Montréal [J]. Revue internationale d'urbanisme, 2007(6): 16-20.
- [11] WU Lixin, JIANG Yun, LIANG Yue, et al. Recherche fondamentale sur l'évaluation de la capacité d'exploitation des espaces souterrains urbains [J]. Geography and Geo-Information Science, 2004(4): 44-47.
- [12] JIANG Yun, WU Lixin, DU Liqun. Recherche sur le système d'indicateurs d'évaluation de la capacité d'exploitation des espaces souterrains urbains [J]. Urban Development Studies, 2005(5): 47-51.
- [13] WU Lixin, JIANG Yun, CHE Defu, et al. Évaluation floue globale et visualisation 3D de la qualité des ressources souterraines urbaines [J]. Journal of China University of Mining & Technology, 2007(1): 97-102.
- [14] LIU Chunyan, SHEN Yanhong. Recherche sur le cadre juridique japonais pour l'exploitation des espaces souterrains urbains [J]. Chinese Journal of Underground Space and Engineering, 2007(4): 587-591.
- [15] ZHAO Penglin, GU Xin. Exploration législative sur l'utilisation des espaces souterrains urbains : le cas de Shenzhen [J]. Urban Planning, 2002(9): 21-24.
- [16] TONG Linxu. Nouvelle phase du développement des espaces souterrains urbains en Chine [J]. Urban Development Studies, 2002(1): 18-21.
- [17] KONG Lingxi, SHEN Rongfang. Évaluation de la durabilité du développement des espaces souterrains urbains [J]. Journal of Natural Disasters, 2007(1): 119-122.
- [18] HOU Xueyuan, LIU Kun. Théorie et application de la planification moderne des espaces souterrains urbains [J]. Chinese Journal of Underground Space and Engineering, 2005(1): 7-

10.

[19] CHEN Zhilong, YANG Yanjun, YANG Hongyu. Planification conceptuelle des espaces souterrains du cœur de Qianjiang New City à Hangzhou [J]. Urban Planning, 2003(10): 89-91.

[20] TANG Yuqing, ZHOU Bingyu. Contrôle de la planification des espaces souterrains dans les centres des grandes villes chinoises : le cas du quartier central des affaires de Huangdao à Qingdao [J]. Urban Planning Forum, 2006(5): 89-94.

[21] YU Mingjian, GUO Dongjun. Exploitation des espaces souterrains et transport urbain : le réseau en forme de puits dans le cœur du CBD de Shanghai [J]. Chinese Journal of Underground Space and Engineering, 2006(Suppl. 1): 1227-1230.

[22] YUAN Hong, ZHAO Shichen, DAI Zhizhong. Attributs spatiaux urbains et signification essentielle des espaces souterrains [J]. Urban Planning Forum, 2013(1): 85-89.

[23] Branche des espaces souterrains de la Société chinoise de mécanique des roches et de génie, Centre de recherche sur les espaces souterrains de l'Université polytechnique de l'APL, Nanjing Huilong Urban Planning and Design Co., Ltd. Livre blanc sur le développement des espaces souterrains urbains en Chine : 2014 [M]. Shanghai : Presses de l'Université Tongji, 2015.

[24] LIU Guilu, YANG Lang. Exploration des caractéristiques et facteurs restrictifs de l'exploitation des espaces souterrains urbains [J]. Urban Planning Forum, 2010(Suppl. 1): 106-110.

[25] WANG Xia, HUANG Xianjin, ZHEN Feng, et al. Évaluation grise multicritère du potentiel de développement des ressources souterraines urbaines [J]. Journal of Tongji University (Natural Science), 2009, 37(8): 1122-1127.

[26] LIU Kun, PENG Jian, PENG Fangle. Modèle d'évaluation de l'adéquation de l'exploitation des ressources souterraines [J]. Chinese Journal of Underground Space and Engineering, 2011, 7(2): 219-231.

[27] ZHAO Kuitao, HU Ke, JIA Xiaoqing. Discussion sur les attributs et les droits de propriété des espaces souterrains urbains [J]. Chinese Journal of Underground Space and Engineering, 2008(2): 222-225.

[28] MA Xusheng. Les droits sur les espaces souterrains urbains et leur construction juridique [J]. Studies in Law and Business, 2010, 27(3): 85-92.

[29] SHU Yu, LU Shan, ZHU Liming, et al. Progrès et perspectives de la légalisation des espaces souterrains urbains en Chine [J]. Modern Urban Research, 2009, 24(8): 7-18.

[30] LIN Jian, HUANG Fei, ZHAO Shuoshuo. Accélérer la législation sur l'utilisation des espaces souterrains pour renforcer la durabilité urbaine [J]. Urban Planning, 2015, 39(3): 24-28.

[31] CHEN Xiaoqiang, QIAN Qihu. Exploration de la gestion intégrée des espaces souterrains urbains en Chine [J]. Chinese Journal of Underground Space and Engineering, 2010, 6(4): 666-671.

[32] ZHENG Huaide. Exploration de la réforme du système de gestion de l'exploitation des espaces souterrains urbains en Chine [J]. Planners, 2012, 28(3): 69-73.

[33] HE Lei, DAI Shenzhi, SHU Yu. Discussion sur certains aspects de l'élaboration de la planification des espaces souterrains urbains [J]. Chinese Journal of Underground Space and Engineering, 2011, 7(5): 825-829.

[34] ZHU Zhaoli. Recherche sur la planification et le développement des espaces souterrains des grandes villes à la nouvelle ère : le cas de Changzhou [J]. Urban Planning Forum, 2016(5):

112-118.

- [35] YU Wenque, GU Xin. Exploration des concepts et voies de réalisation de la planification urbaine tridimensionnelle : étude sur la planification des espaces souterrains dans la réforme et l'innovation du plan directeur urbain [J]. Chinese Journal of Underground Space and Engineering, 2015, 11(1): 1-9.
- [36] WEI Lihua, TANG Jun. Exploration du développement intégré des espaces souterrains urbains et des ouvrages de défense civile [J]. Planners, 2016, 32(5): 54-58.
- [37] ZHANG An, YAN Gang, XIE Ruixin, et al. Exploration du contrôle du développement des espaces souterrains dans le système de planification réglementaire [J]. Urban Planning, 2009(2): 20-24.
- [38] PENG Fangle, ZHAO Jingwei, LIU Kun, et al. Discussion sur le contrôle du développement des espaces souterrains du CBD au niveau de la planification réglementaire : le cas de la première phase du cœur du quartier d'affaires de Hongqiao à Shanghai [J]. Urban Planning Forum, 2013(1): 78-84.
- [39] YAO Wenqi. Exploration des méthodes de planification des espaces souterrains dans les centres urbains : le cas du centre de Bao'an à Shenzhen [J]. Urban Planning Forum, 2010(Suppl. 1): 36-43.
- [40] WEI Xi. Réflexions sur l'élaboration du plan détaillé de contrôle des espaces souterrains de l'île centrale de Maluan à Xiamen [J]. Urban Planning Forum, 2018(Suppl. 1): 115-119.
- [41] SHAO Jizhong, HU Zhenyu. Recherche sur la théorie du couplage multiple entre espaces souterrains et espaces de surface [J]. Chinese Journal of Underground Space and Engineering, 2017, 13(6): 1431-1443.
- [42] LU Jiwei, CHEN Yong. Conception intégrée surface-sous-sol : stratégie pour le développement efficace des espaces souterrains [J]. Journal of Shanghai Jiao Tong University, 2012, 46(1): 1-6.
- [43] ZHANG Lin, SHU Yu, LU Shan. Recherche sur les théories et techniques clés de planification pour l'exploitation des espaces souterrains dans les quartiers historiques urbains [J]. Urban Development Studies, 2014, 21(7): 79-83.
- [44] XU Xinqiao. Planification et pratique de l'exploitation des ressources souterraines dans les zones de renouvellement urbain : le cas du quartier de Huaqiangbei à Shenzhen [J]. Urban Planning Forum, 2010(Suppl. 1): 30-35.
- [45] SU Xiaochao, CAI Hao, GUO Dongjun, et al. Application de la technologie BIM au développement des espaces souterrains urbains [J]. Journal of PLA University of Science and Technology (Natural Science Edition), 2014, 15(3): 219-224.
- [46] LI Xiaojun, LIU Yupeng, WANG Yu. État et tendances de la normalisation des données spatiales souterraines urbaines [J]. Chinese Journal of Underground Space and Engineering, 2017, 13(2): 287-294.
- [47] LOU Shurong, LI Wei, QIN Wenjing. Recherche sur l'intégration de la 3D-GIS pour la planification des espaces souterrains urbains [J]. Chinese Journal of Underground Space and Engineering, 2018, 14(1): 6-11.
- [48] WANG Jiangbo, GAO Mingchao, GOU Aiping. Méthode d'évaluation du niveau de développement intégré des espaces souterrains autour des stations de métro de type centre public : le cas de Dalian [J]. Modern Urban Research, 2017(6): 92-100.
- [49] ZHU Liangcheng, LU Shan, SHU Yu. Exploration des modèles de planification des espaces souterrains fondés sur le concept TOD [J]. Urban and Rural Planning, 2011(2): 75-82.

- [50] HAO Jun. Discussion sur le modèle de planification unifiée des gares souterraines et des espaces souterrains dans le transport ferroviaire urbain [J]. Urban Mass Transit, 2010, 13(2): 9-13.
- [51] LIU Yingming, CHEN Yonghai, PENG Jian. Discussion sur certains problèmes techniques clés dans la planification des systèmes de galeries techniques : le cas de Shenzhen [J]. Urban Planning Forum, 2010(Suppl. 1): 101-105.
- [52] WANG Yang, ZHAO Jingwei, PENG Fangle. Exploration des éléments de contrôle du développement des espaces souterrains le long des lignes de métro [J]. Planners, 2014, 30(9): 70-75.
- [53] OUYANG Tianzhi, HUANG Qiuping. L'Axe de l'Expo et le complexe souterrain de l'Exposition universelle 2010 de Shanghai [J]. Architectural Journal, 2009(6): 7-9.
- [54] SHU Yu, ZHU Liming, LU Shan. Caractéristiques et enseignements de l'exploitation des espaces souterrains du parc de l'Expo de Shanghai [J]. Shanghai Urban Planning, 2010(2): 9-13.
- [55] HAN Yingzi. Planification et pratique des espaces souterrains du parc de l'Expo de Shanghai [J]. Shanghai Urban Planning, 2010(2): 3-8.
- [56] PENG Jian, LIU Kun, YAN Zhiguo, et al. Discussion sur les problèmes de sécurité et les stratégies de gestion des espaces souterrains [J]. Chinese Journal of Underground Space and Engineering, 2010, 6(1): 1-7.
- [57] PU Weiqing. Recherche sur la prévention des inondations et les stratégies pour les espaces souterrains urbains [J]. Waterway Engineering, 2008(10): 223-228.
- [58] SUN Lijun, HONG Wei, GUO Yihui. Discussion sur la conception de prévention incendie des grands espaces souterrains : le cas du cœur de Zhujiang New Town à Guangzhou [J]. Architectural Journal, 2009(3): 74-76.
- [59] CHEN Zhilong, CHEN Jiayun, GUO Dongjun, et al. Nouvelles avancées et réflexions sur l'utilisation des espaces souterrains et la prévention des catastrophes urbaines [J]. Strategic Study of CAE, 2013, 15(5): 65-70.
- [60] CHEN Zhuo, SHE Lian. Recherche sur la vulnérabilité du développement sécuritaire urbain : perspective de l'utilisation intégrée des espaces souterrains [J]. Journal of HUST (Social Science Edition), 2009, 23(1): 109-112.
- [61] Centre de consultation stratégique de l'Académie chinoise d'ingénierie, et al. Livre bleu sur le développement des espaces souterrains urbains en Chine [EB/OL]. (2024) [2024-12-04]. https://www.planning.org.cn/law/view_news?id=16315.
- [62] GE Weiya, WANG Rui, ZHANG Qing, et al. Conception de l'évaluation intégrée de l'exploitation des ressources souterraines urbaines [J]. Geological Bulletin of China, 2021, 40(10): 1601-1608.
- [63] XING Huaixue, DOU Fanfan, GE Weiya, et al. Recherche sur le système d'indicateurs tridimensionnel d'adéquation géologique à l'exploitation des espaces souterrains urbains : le cas de Hangzhou [J]. Geological Review, 2022, 68(2): 607-614.
- [64] XUE Tao, SHI Yujin, ZHU Xiaodi, et al. Recherche et pratique de la modélisation 3D pour l'évaluation des ressources souterraines urbaines : le cas de Shanghai [J]. Earth Science Frontiers, 2021, 28(4): 373-382.
- [65] HUANG Qiangbing, PENG Jianbing, WANG Feiyong, et al. Problèmes et défis de l'exploitation des espaces souterrains dans les villes à géologie particulière [J]. Earth Science Frontiers, 2019, 26(3): 85-94.

- [66] YOU Xinhua, HE Guangyao, WANG Qiangxun, et al. État actuel et tendances de l'utilisation des espaces souterrains urbains en Chine [J]. *Tunnel Construction*, 2019, 39(2): 173-188.
- [67] YANG Xiaogang, WANG Rui, HUANG Weiliang. État actuel et analyse des problèmes de l'exploitation des espaces souterrains sur la base de la comparaison de villes typiques chinoises [J]. *Earth Science Frontiers*, 2019, 26(3): 69-75.
- [68] YI Rong, JIA Kaiguo. Discussion sur les problèmes de sécurité des espaces souterrains urbains en Chine [J]. *Geology and Exploration*, 2020, 56(5): 1072-1079.
- [69] ZENG Guohua, TANG Zhili. Connotation, voies et recommandations pour le développement intégré des espaces souterrains urbains [J]. *Chinese Journal of Underground Space and Engineering*, 2022, 18(3): 701-713.
- [70] WU Zhiqiang, YAN Juan, XU Haowen, et al. Dix thèmes clés annuels du développement de la discipline de planification urbaine et rurale (2024-2025) [J]. *Urban Planning Forum*, 2024(6): 8-11.
- [71] PENG Fangle, QIAO Yongkang, CHENG Guanghua, et al. État actuel, problèmes et contre-mesures de la planification des espaces souterrains urbains en Chine [J]. *Earth Science Frontiers*, 2019, 26(3): 57-68.
- [72] LEI Shengxiang, SHEN Yanjun, XIAO Qinghua, et al. État actuel et concepts futurs de l'exploitation des espaces souterrains urbains [J]. *Chinese Journal of Underground Space and Engineering*, 2019, 15(4): 965-979.
- [73] LIU Yi, ZHU Liangcheng. État actuel et perspectives du développement des espaces souterrains urbains à Shanghai [J]. *Tunnel Construction*, 2020, 40(7): 941-952.
- [74] TANG Yuqing, WANG Mengwen, WU Xinzen, et al. Stratégies de planification et modèles d'implantation des espaces souterrains pour le renouvellement organique des anciens quartiers urbains [J]. *Planners*, 2022, 38(2): 134-139.
- [75] WANG Chengshan, ZHOU Chenghu, PENG Jianbing, et al. Sur le développement de haute qualité et l'utilisation durable des espaces souterrains urbains en Chine à la nouvelle ère [J]. *Earth Science Frontiers*, 2019, 26(3): 1-8.
- [76] YU Yuanhang, YAN Bo. État actuel et tendances de l'exploitation des espaces souterrains dans les mégapoles chinoises [J]. *Chinese Journal of Underground Space and Engineering*, 2021, 17(Suppl. 1): 1-7.
- [77] CHENG Guanghua, WANG Rui, ZHAO Muhua, et al. État actuel et tendances de l'exploitation des espaces souterrains urbains en Chine [J]. *Earth Science Frontiers*, 2019, 26(3): 39-47.
- [78] SUN Jun. Développement et problèmes de l'exploitation des ressources souterraines urbaines en Chine et à l'étranger [J]. *Tunnel Construction*, 2019, 39(5): 699-709.
- [79] ZHANG Bin, XU Nengxiong, DAI Chunsen. État actuel, tendances et enseignements internationaux de l'exploitation des espaces souterrains urbains [J]. *Earth Science Frontiers*, 2019, 26(3): 48-56.
- [80] SHI Xiaodong, ZHAO Yiting, WU Kejie. Exploration des méthodes de planification scientifique des espaces souterrains des mégapoles à l'ère de la civilisation écologique : le cas de la planification des espaces souterrains de Beijing [J]. *Tunnel Construction*, 2020, 40(5): 611-620.
- [81] QIAN Qihu. Utiliser les espaces souterrains pour soutenir le développement de bâtiments et de villes verts [J]. *Tunnel Construction*, 2019, 39(11): 1737-1747.

- [82] YANG Huayong, JIANG Yuan, LI Zhe, et al. Recherche sur la stratégie de développement de la gestion intégrée de l'exploitation des espaces souterrains [J]. Strategic Study of CAE, 2021, 23(4): 126-136.
- [83] LIU Xiaoqing, HE Rui. Planification des nouvelles infrastructures d'information urbaine : pratique et exploration de Xiongan [J]. Urban Planning Forum, 2022(5): 112-118.
- [84] DAI Shenzhi, FENG Hao, HE Lei, et al. Exploration du modèle d'élaboration du plan de prévention des catastrophes dans la révision du plan directeur des grandes villes chinoises : le cas de Wuhan [J]. Urban Planning Forum, 2019(1): 91-98.
- [85] QIU Tong, CHEN Xiangsheng, SU Dong. Cadre intégré de prévention résiliente et de lutte contre les pandémies dans les espaces souterrains urbains [J]. Journal of Tsinghua University (Science and Technology), 2021, 61(2): 117-127.
- [86] ZHAO Ziwei, YUAN Yuan, GUO Dongjun, et al. Évaluation de l'accessibilité composite des réseaux d'espaces souterrains urbains basée sur la prévention des catastrophes [J]. Chinese Journal of Underground Space and Engineering, 2021, 17(1): 1-8.