

Construire un agent intelligent de recherche d'informations pour le plan détaillé réglementaire orienté vers la participation publique : méthode de construction et applications dans des scénarios de bonne gouvernance

Auteurs

WANG Shifu, LI Yonghao, HUANG Duo, LI Xinjian

Résumé

Dans le double contexte de la promotion de la « ville centrée sur l'humain » et de la transformation numérique approfondie de la planification territoriale et spatiale, les recherches existantes ne répondent pas encore suffisamment au besoin du public d'accéder, de manière précise, commode et peu coûteuse, aux informations du plan détaillé réglementaire par des systèmes de recherche intelligents. Cette étude examine d'abord une trajectoire procédurale de développement des agents de planification, puis explicite les principes de construction d'un agent de recherche d'informations de planification intégrant les grands modèles de langage et les graphes de connaissances dans un cadre de génération augmentée par la recherche (RAG). Sur cette base, elle propose une méthode en trois étapes, fondée sur la plateforme low-code Dify, pour construire ZoKnow, un agent de recherche du plan réglementaire orienté vers la participation publique. Sept plans statutaires du district de Futian à Shenzhen, comprenant environ 80 000 caractères chinois de textes de planification et 1 185 indicateurs de contrôle à l'échelle de la parcelle, servent à la validation applicative par le développement d'un prototype, l'évaluation de la performance en questions-réponses et la comparaison avec la version publique de la plateforme « One Map ». Les résultats montrent que la méthode proposée est faisable et offre une performance de recherche supérieure. Elle présente des avantages particuliers pour l'explication terminologique, la traçabilité des résultats statutaires et l'analyse des données dans la participation publique au plan réglementaire. L'étude discute en outre le potentiel d'extension des agents de recherche d'informations de planification vers plusieurs types d'agents de planification, ainsi que leur portée à long terme pour la transformation de la profession. Elle fournit ainsi un paradigme de construction d'agents de planification peu coûteux, reproductible et extensible, au service de la transformation numérique-intelligente de la planification et d'une bonne gouvernance spatiale appuyée par la technologie.

Mots-clés

grands modèles de langage ; planification détaillée réglementaire ; agent intelligent ; graphe de connaissances ; participation publique ; gouvernance

Introduction

Le concept de « ville centrée sur l'humain » affirme que les villes sont construites par les habitants et pour les habitants. La mise en place en Chine d'un système de planification territoriale et spatiale a marqué le passage à une coordination intégrée du développement et de la protection de l'espace, à l'échelle de l'ensemble du territoire et de tous ses éléments [1-2]. Dans cette transformation institutionnelle, la planification détaillée réglementaire, ci-après appelée plan réglementaire, joue un rôle charnière entre la planification territoriale et spatiale de niveau supérieur et le contrôle du développement aux échelles moyenne et fine. En définissant les fonctions d'usage du sol, l'intensité du

développement, la provision d'équipements de service public et les indicateurs de contrôle du design urbain, elle traduit les exigences de la ville centrée sur l'humain dans la forme matérielle et la répartition spatiale des bénéfices à l'échelle de lieux précis [3-4].

Les citoyens ordinaires disposent de droits à l'information, à la participation et au contrôle tout au long du processus de planification territoriale et spatiale, de construction et de gouvernance. Une participation publique de qualité est donc essentielle à l'efficacité et à l'équité de l'élaboration et de la mise en oeuvre des plans réglementaires. L'accès exact au contenu des plans réglementaires grâce à la numérisation et au traitement intelligent des informations territoriales et spatiales constitue un moyen important d'améliorer cette participation [5-16]. Or la construction et l'application des systèmes actuels de recherche intelligente pour les plans réglementaires restent insuffisantes à trois égards : la réponse aux besoins de la participation publique, l'amélioration de la commodité fonctionnelle et la réduction des coûts de traitement des données [6,10-12,17-19]. Premièrement, les plateformes numériques de nouvelle génération, représentées par le système « One Map » de planification territoriale et spatiale et par le China Spatial Planning Observation Network (CSPON), s'adressent principalement aux administrations publiques et à certains professionnels de la planification [6-9]. Deuxièmement, les plateformes numériques de recherche destinées au grand public restent limitées pour obtenir rapidement les résultats, comprendre la signification spatiale et remonter aux bases statutaires ; elles peinent donc à soutenir une délibération efficace et freinent la motivation et la qualité de la participation [10-12]. Troisièmement, les résultats du plan réglementaire, qui comprennent textes de planification et atlas statutaires, sont fortement hétérogènes et non structurés ; atteindre une bonne précision de recherche exige généralement des coûts élevés de traitement des données [20-22].

Le développement des grands modèles de langage (LLMs), de la génération augmentée par la recherche (RAG) et des graphes de connaissances a donné une nouvelle impulsion à la transformation numérique des technologies de planification [23-25]. Le domaine de la planification a déjà engagé des explorations initiales, notamment des graphes de connaissances de plans directeurs appuyés par des requêtes codées [26], des méthodes de cognition urbaine dynamique fondées sur les graphes de connaissances [24] et des assistants de génération de textes de planification basés sur RAG [27]. Toutefois, peu de recherches examinent la construction d'un agent de recherche d'informations du plan réglementaire capable d'aider les citoyens ordinaires à obtenir des informations exactes, à comprendre rapidement leur portée planificatrice et à fonctionner à faible coût. Cette lacune entrave l'amélioration du niveau de participation publique [26-28].

Cette étude propose donc une méthode de construction de ZoKnow, agent de recherche d'informations du plan réglementaire orienté vers la participation publique, qui intègre LLMs et graphes de connaissances dans un cadre RAG, puis en vérifie l'application. Elle examine d'abord la trajectoire procédurale de développement des agents de planification et explicite les principes de construction des agents de recherche d'informations du plan réglementaire. Elle propose ensuite une méthode en trois étapes pour construire ZoKnow. À partir des textes et des atlas des plans statutaires du district de Futian à Shenzhen, elle développe un prototype, évalue les performances en questions-réponses et compare des scénarios de gouvernance avec la version publique de la plateforme One Map. Enfin, elle précise les orientations d'approfondissement de la méthode et discute le potentiel des agents de recherche d'informations de planification dans les applications de bonne gouvernance et la transformation du secteur.

1 Trajectoire de développement des agents de planification et principes de construction d'un agent de recherche d'informations du plan réglementaire

1.1 Trajectoire procédurale de développement des agents de planification

Un agent désigne un système numérique doté d'autonomie, de réactivité, de proactivité et de sociabilité. À partir de données multisources et d'algorithmes avancés, il peut percevoir son environnement, constituer une mémoire, prendre des décisions, interagir avec l'humain et agir pour atteindre un objectif [29]. À mesure que les LLMs démontrent une forte capacité générale de compréhension et de génération du langage naturel, les agents sont passés de systèmes d'interaction modulaires fixes à des systèmes autonomes capables d'actions multi-étapes en environnement complexe. En prenant les LLMs comme centre de raisonnement et de décision, les agents peuvent, par la planification, la mémoire et l'appel d'outils externes, acquérir continuellement des informations, corriger leurs stratégies et accomplir les tâches au fil de l'interaction [30]. La littérature classe aujourd'hui les agents autonomes fondés sur les LLMs en agents génériques, instrumentaux, de simulation, incarnés, ludiques, réticulaires et assistants, selon leurs objectifs d'application, leurs frontières fonctionnelles et leur logique de construction [30].

Les agents de planification sont des systèmes intelligents orientés vers l'ensemble du cycle de préparation, d'approbation, de modification, de mise en oeuvre et de supervision des plans. Ils peuvent percevoir, mémoriser, décider, interagir et exécuter de façon autonome. En combinant la logique technique des agents fondés sur les LLMs et l'expérience pratique du champ de la planification, une trajectoire procédurale de développement des agents de planification commence à se former. Elle comprend l'identification des besoins de scénario, la construction d'une base de connaissances, le développement d'une base de données, l'adaptation des outils de planification, l'orchestration du processus de tâches ainsi que l'évaluation, le retour d'expérience et la gouvernance. La base de connaissances constitue la condition première de construction d'un agent de planification spécifique. Elle intègre les connaissances professionnelles et construit des corpus de qualité, afin de représenter les connaissances de planification de manière structurée, de les aligner sémantiquement et de les rendre interrogeables. La base de données connecte des données hétérogènes multisources, soutient la perception multidimensionnelle et la caractérisation dynamique des éléments spatiaux, et renforce la compréhension des états urbains complexes. L'adaptation des outils de planification intègre les méthodes de planification dans l'agent sous forme de modules numériques appelables, tels que des algorithmes, des protocoles ou des outils. L'orchestration du processus de tâches permet la coordination de la perception, de l'évaluation, de l'analyse et de la décision dans différents contextes. Enfin, l'évaluation et le retour d'expérience assurent la vérification et l'optimisation continues de l'agent, en améliorant sa fiabilité et son efficacité pratiques.

1.2 Principes fondamentaux de construction d'un agent de recherche d'informations du plan réglementaire

Un agent de recherche d'informations du plan réglementaire est un système intelligent qui répond aux besoins de participation publique en matière de recherche d'informations du plan réglementaire. Il possède des capacités d'interaction à faible seuil, de planification et d'orchestration des tâches, de stockage de connaissances professionnelles, d'appel d'outils externes et d'exécution de tâches de planification. Les citoyens ordinaires disposent souvent de connaissances en planification et de compétences techniques limitées, mais ils ont néanmoins besoin d'obtenir, de comprendre et d'analyser

efficacement les informations du plan réglementaire pour participer avec qualité. Un agent de planification instrumental constitue donc une voie technique appropriée. Sa caractéristique centrale est d'appeler des outils externes pour accomplir des tâches de planification exécutables. Sa tâche clef peut être résumée par le cadre « 3W » : whether, déterminer s'il faut appeler un outil ; which, choisir l'outil pertinent ; how, définir comment l'utiliser. Ce cadre garantit que les outils externes appropriés sont mobilisés au bon moment pour traiter les questions-réponses professionnelles, les requêtes de données et d'autres problèmes du domaine de la planification.

En référence à la logique de construction des agents instrumentaux [30] et aux exigences du développement des systèmes d'information, l'architecture centrale d'un agent de recherche d'informations du plan réglementaire peut être résumée en quatre composantes : système de tâches et d'interaction, ou couche d'interaction ; système de planification et de contrôle, ou couche de tâches ; système de connaissances et de mémoire, ou couche de connaissances ; système d'action et d'outils, ou couche moteur (figure 1).

Le système de tâches et d'interaction constitue la frontière d'entrée-sortie par laquelle l'agent échange des informations avec l'environnement externe ; sa capacité centrale est de transformer l'expression en langage naturel de l'utilisateur en une description de tâche exécutable. Le système de planification et de contrôle organise la décision et le contrôle de la tâche pendant l'exécution ; dans un cadre de raisonnement prédéfini, il décompose les problèmes complexes en étapes exécutables et utilise les preuves et retours d'action pour revenir en arrière, corriger et compléter les opérations. Le système de connaissances et de mémoire associe la base de connaissances et le mécanisme de gestion de la mémoire qui soutiennent l'acquisition d'informations. D'une part, l'agent doit accéder à des sources externes de connaissances actualisables afin d'obtenir des bases factuelles fiables pour des tâches spécifiques. D'autre part, il doit maintenir et lire l'état de la tâche et les informations clés sur plusieurs tours de dialogue, afin de mieux comprendre l'avancement et les besoins réels de l'utilisateur. Le système d'action et d'outils regroupe les modules fonctionnels d'appel et d'exécution des outils externes. Il externalise les étapes essentielles, comme le calcul et la vérification, en chaînes d'outils exécutables, transformant l'analyse en un processus révisable.

Ces quatre systèmes forment ensemble un système opérationnel interdépendant et dynamique. Le système de tâches et d'interaction précise « quel problème doit être résolu » ; le système de planification et de contrôle organise « par quelles étapes le résoudre » ; le système de connaissances et de mémoire fournit « sur quelles preuves le résoudre » ; le système d'action et d'outils met en oeuvre « par quels moyens le résoudre ». Ils permettent à l'agent de recherche d'informations du plan réglementaire de passer d'une simple interactivité à une capacité de résolution de tâches complexes, compréhensible, vérifiable et analysable.

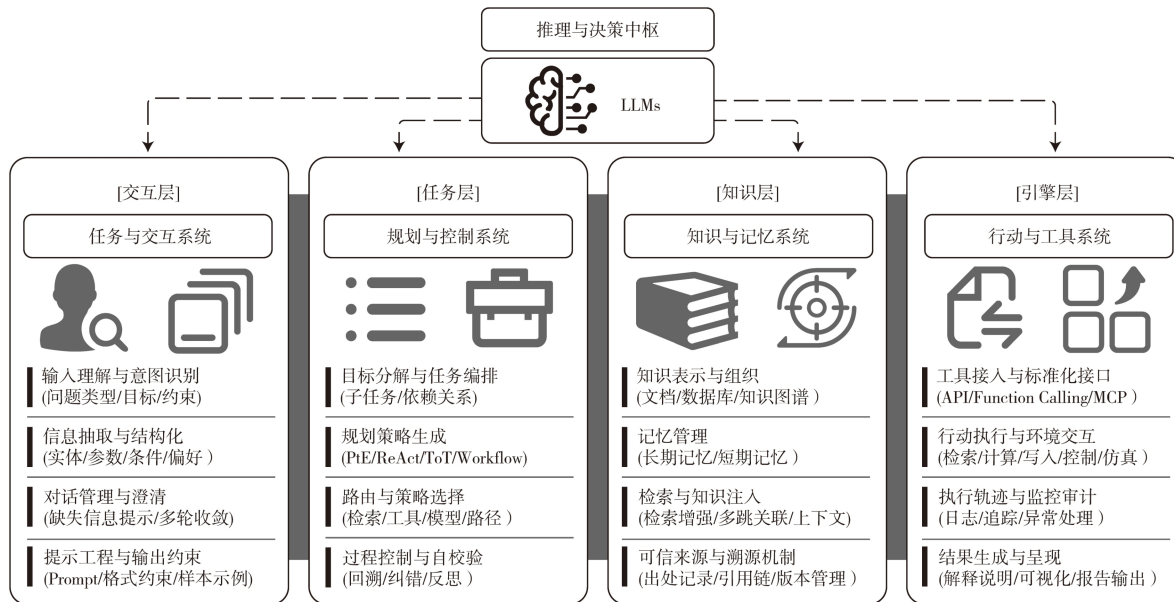


Figure 1. Architecture centrale en quatre couches d'un agent de recherche d'informations du plan détaillé réglementaire.

1.3 Logique technique d'intégration des graphes de connaissances dans la couche de connaissances sous le cadre RAG

Pour un agent de recherche d'informations du plan réglementaire, l'intégration d'un graphe de connaissances dans la couche de connaissances sous le cadre RAG apporte trois avantages techniques : précision élevée, faible coût d'exploitation et facilité de développement. Premièrement, RAG introduit les textes de planification comme source externe de connaissances et les récupère par similarité sémantique, fournissant aux LLMs un contexte plus riche et plus contrôlable. Cela peut, dans une certaine mesure, réduire les hallucinations lors des réponses portant sur l'explication conceptuelle du plan réglementaire. Deuxièmement, le graphe de connaissances stocke les connaissances sous forme de triplets « entité - relation - entité » et constitue une base de données structurée. Une fois intégré dans la couche de connaissances de l'agent, il améliore nettement, par la recherche graphique et la construction de chaînes de raisonnement, la précision et la contrôlabilité des LLMs dans les tâches de questions-réponses et de raisonnement multi-sauts. Troisièmement, sans entraînement préalable spécifique, les LLMs peuvent extraire automatiquement, à l'aide de prompts, les triplets « entité - relation - entité » des résultats de planification, accélérant ainsi la construction du graphe de connaissances. Ils peuvent aussi servir d'interface efficace de requête et de raisonnement pour la base graphique, en convertissant le langage naturel en requêtes, ce qui rend possible l'acquisition interactive de connaissances par les citoyens.

2 Méthode de construction d'un agent de recherche d'informations du plan réglementaire orienté vers la participation publique

L'agent de recherche d'informations du plan réglementaire orienté vers la participation publique est un agent de planification instrumental typique. Il utilise des informations réglementaires explicites et des limites de données bien définies comme sources externes, fournit aux citoyens ordinaires un appui précis, rapide et accessible pour la recherche, la vérification et l'explication, puis transforme les résultats

en preuves de planification mobilisables dans la concertation. À partir de ce positionnement fonctionnel, des principes de construction de l'agent et de la plateforme low-code Dify, l'étude propose une méthode en trois étapes pour construire ZoKnow.

2.1 Prétraitement des textes et des atlas du plan réglementaire

Pour les textes du plan réglementaire, le chinois est une langue paratactique, faiblement marquée grammaticalement et fortement dépendante du contexte pour les relations sémantiques. Cette étape utilise donc l'outil HanLP afin d'ajouter des informations syntaxiques au langage naturel et de réduire les erreurs d'extraction de triplets provoquées par l'ambiguïté lors du traitement par les LLMs. Pour les atlas du plan réglementaire, qui possèdent déjà un certain degré de structuration, une segmentation des unités d'image est appliquée en conservant l'intégrité et la lisibilité des contenus graphiques et tabulaires. Elle diminue la densité informationnelle de chaque entrée et aide les LLMs à identifier plus clairement les indicateurs, objets et relations de contrainte dans les tableaux et figures.

2.2 Construction automatique du graphe de connaissances fondée sur les LLMs

Après le prétraitement des données multimodales, un flux de travail centré sur les LLMs est construit pour automatiser le graphe de connaissances du plan réglementaire. La tâche est décomposée en trois étapes : reconnaissance des entités nommées, extraction des relations et attribution des étiquettes. Les textes et informations graphiques non structurés des plans statutaires peuvent ainsi être transformés de manière stable en informations structurées, puis organisés dans une base de données graphique.

2.3 Construction de ZoKnow sur Dify selon une architecture centrale en quatre couches

Conformément aux principes de construction de l'agent de recherche d'informations du plan réglementaire, ZoKnow est conçu sur la plateforme Dify selon l'architecture « couche d'interaction - couche de tâches - couche de connaissances - couche moteur ». Le graphe de connaissances du plan réglementaire est intégré à la couche de connaissances afin de soutenir la recherche précise d'informations, l'organisation des preuves et la génération de réponses explicables (figure 2).

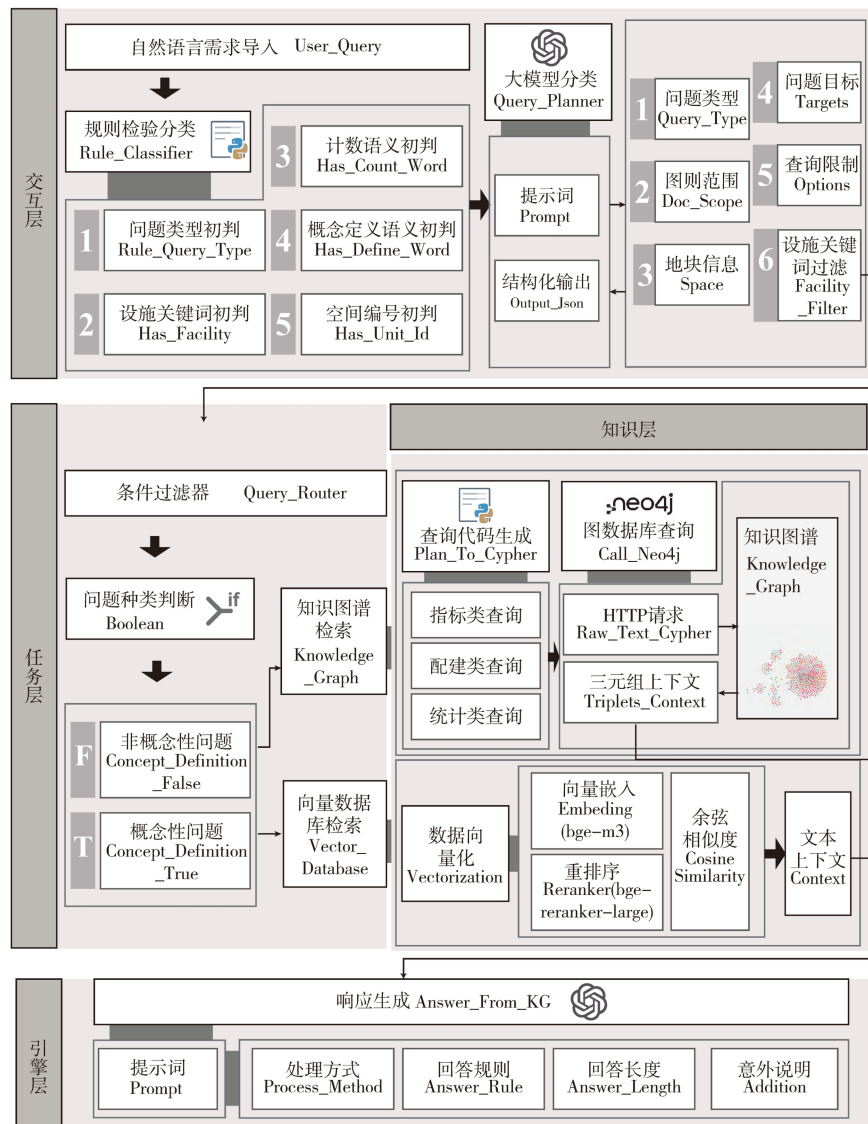


Figure 2. Cadre en quatre couches de ZoKnow.

3 Données et méthodes de validation applicative

3.1 Sélection des données de cas et sources

3.1.1 Sélection des données de cas

La validation applicative retient comme données de cas les plans statutaires des unités urbaines de planification détaillée du district de Futian à Shenzhen. Après plus de vingt ans d'optimisation continue, les plans statutaires de Futian ont formé un modèle pratique avancé à l'échelle nationale en matière de règles d'élaboration, de structure de contenu et de modes d'expression ; ils présentent donc une bonne représentativité [18].

3.1.2 Sources et types de données

Les données proviennent principalement des plans statutaires du district de Futian et des résultats associés publiés par le Bureau municipal de la planification et des ressources naturelles de Shenzhen. Elles comprennent deux types principaux.

Le premier type concerne les atlas et tableaux des plans statutaires, fournis en PDF ou en images. Ils enregistrent les numéros de parcelles, les codes d'usage du sol, la nature de l'usage, le coefficient d'occupation ou d'intensité, la densité bâtie, la hauteur des bâtiments, le taux d'espaces verts et les exigences de provision en équipements publics. Ils constituent la source d'information des « contraintes fortes » du graphe de connaissances du plan réglementaire, sous la forme d'exigences de contrôle obligatoires [31].

Le second type concerne les textes des plans statutaires, notamment les rapports explicatifs et les notices de révision de chaque unité urbaine, dans des formats tels que PDF et HTML. Outre les informations de « contraintes fortes » déjà présentes dans les atlas, ces textes contiennent le contexte de planification, les objectifs et les exigences de contrôle du design urbain. Ils forment ainsi la source d'information des « contraintes souples » du graphe de connaissances du plan réglementaire, sous la forme d'exigences directrices [31].

Comme certains résultats de plans statutaires avaient été publiés trop tôt, leurs textes et atlas ne pouvaient plus offrir la précision de données requise par cette étude et présentaient des redondances avec des plans ultérieurement mis à jour. Les plans statutaires des unités urbaines de planification détaillée du district de Futian ont donc été triés manuellement. Sept plans statutaires depuis 2010 ont finalement été retenus, comprenant près de 80 000 caractères chinois de textes de planification et les indicateurs de contrôle de 1 185 parcelles réparties dans 118 îlots des atlas.

3.2 Étapes de validation applicative et méthodes d'évaluation

Une fois le prototype de ZoKnow développé à partir des données du district de Futian, la validation applicative comprend deux étapes : une évaluation comparative de l'efficacité de recherche de l'agent et une analyse comparative des scénarios de gouvernance (figure 3). La première compare les performances de différentes stratégies de recherche dans un cadre d'évaluation unifié, afin de vérifier l'avantage de ZoKnow. La seconde examine sa capacité à soutenir la participation publique dans des scénarios réels de gouvernance.

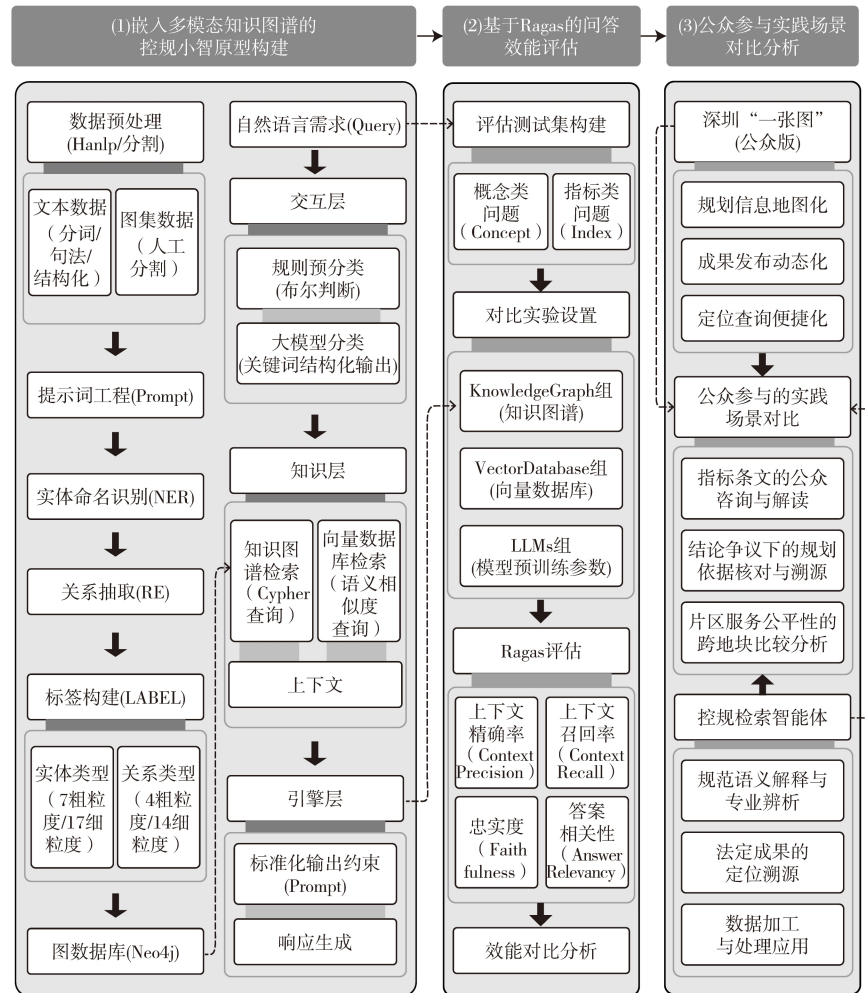


Figure 3. Étapes de la validation applicative.

3.2.1 Méthode d'évaluation comparative de l'efficacité de recherche de l'agent

Pour évaluer l'effet applicatif des fonctions centrales de recherche de ZoKnow dans des scénarios de planification réels, cette étude construit un jeu de test structuré de questions-réponses à partir des besoins de recherche d'informations du plan réglementaire. Pour chacun des sept plans statutaires, trente paires question-réponse sont conçues, soit 210 paires au total, afin de vérifier systématiquement l'efficacité globale des différentes solutions de recherche. Du point de vue du contenu, le jeu de test se réfère aux principes d'évaluation du plan réglementaire dans le domaine de la planification, prend en compte ses tâches fondamentales - détermination qualitative, contrôle quantitatif et définition formelle - ainsi que les exigences de conformité, d'articulation et de faisabilité, et simule les besoins de recherche apparaissant dans des scènes de planification réelles. Du point de vue des règles, la construction des paires suit strictement les six règles centrales du cadre Ragas (Retrieval-Augmented Generation Assessment System), afin de garantir une structure scientifique et une validité d'évaluation.

Sur la base du cadre Ragas, l'étude compare systématiquement les performances des LLMs associés à différentes stratégies de recherche dans les tâches de questions-réponses du plan réglementaire. ZoKnow adopte une solution combinant LLM et graphe de connaissances. Deux groupes de contrôle

sont établis : une solution de base de données vectorielle et une solution de LLM pur. La solution vectorielle connecte uniquement la base de données vectorielle des plans statutaires comme source externe. La solution de LLM pur n'accède à aucune source externe et s'appuie seulement sur les paramètres préentraînés du modèle pour générer ses réponses. Quatre indicateurs typiques sont retenus : précision du contexte, rappel du contexte, fidélité et pertinence de la réponse.

3.2.2 Méthode d'analyse comparative des scénarios de gouvernance

Cette étape se concentre sur trois exigences clefs des outils numériques pour améliorer la commodité fonctionnelle de la participation publique : une compréhension plus facile, une traçabilité plus précise et une analyse plus complète. Elle compare la version publique de la plateforme « One Map » du plan détaillé réglementaire de Shenzhen et ZoKnow dans trois scénarios typiques de gouvernance : consultation publique et interprétation des indicateurs et clauses, vérification et traçabilité des bases de planification en cas de controverse, et analyse comparative inter-parcelles de l'équité des services publics à l'échelle d'un secteur. Cette comparaison multidimensionnelle évalue la capacité applicative de ZoKnow.

Dans le scénario de consultation publique et d'interprétation des indicateurs et clauses, les citoyens ordinaires doivent souvent consulter le coefficient d'intensité, les limites de hauteur, la nature de l'usage du sol et les clauses associées d'une parcelle lorsqu'ils choisissent un logement, échangeant au sein de leur communauté ou suivent les développements voisins. Ils se trouvent pourtant fréquemment dans une situation où l'information est trouvable mais difficile à comprendre. Des explications vulgarisées et une distinction conceptuelle sont donc nécessaires pour former rapidement un jugement de référence compréhensible.

Dans le scénario de vérification et de traçabilité des bases de planification, les citoyens impliqués dans des controverses sur l'implantation d'équipements ou dans la supervision de la construction rencontrent souvent des affirmations divergentes provenant de canaux différents et ne disposent pas d'une chaîne de preuves vérifiable pour participer à la concertation. Il faut donc pouvoir relier les conclusions à des textes de planification, tableaux d'indicateurs ou sources documentaires précis, afin d'aider les citoyens à localiser et obtenir efficacement l'information nécessaire et d'améliorer l'efficacité et la qualité de leur participation.

Dans le scénario de comparaison inter-parcelles des services publics, lorsque les citoyens discutent de l'équilibre des services publics ou d'un déficit d'équipements, ils doivent généralement agréger, comparer et réaliser des statistiques simples sur plusieurs parcelles ou secteurs, puis produire des sujets significatifs pour le débat public. Les statistiques d'indicateurs inter-parcelles, la comparaison des différences et la vérification des seuils permettent donc de transformer des requêtes dispersées en résultats analytiques de base pour la concertation.

4 Résultats de la validation applicative

4.1 Évaluation comparative de l'efficacité de recherche de ZoKnow

Les résultats comparatifs de l'efficacité de recherche selon le cadre Ragas sont présentés dans le tableau 1.

Tableau 1. Évaluation des performances de réponse des solutions de recherche selon le cadre Ragas.

Type d'évaluatio	Solution de recherche	Précision du contexte	Rappel du contexte	Fidélité	Pertinence de la
------------------	-----------------------	-----------------------	--------------------	----------	------------------

n					réponse
Performanc e globale	ZoKnow (solution de graphe de connaissances)	0.92	0.84	0.99	0.68
Performanc e globale	Solution de base de données vectorielle	0.64	0.57	0.99	0.40
Performanc e globale	Solution de LLM pur	0.19	0.12	0.99	0.00
Questions d'indicateur s	ZoKnow (solution de graphe de connaissances)	0.97	0.92	0.98	0.70
Questions d'indicateur s	Solution de base de données vectorielle	0.37	0.31	0.98	0.26
Questions d'indicateur s	Solution de LLM pur	0.01	0.01	0.99	0.00
Questions conceptuell es	ZoKnow (solution de graphe de connaissances)	0.88	0.76	0.99	0.65
Questions conceptuell es	Solution de base de données vectorielle	0.91	0.82	0.99	0.54
Questions conceptuell es	Solution de LLM pur	0.37	0.24	0.99	0.00

En performance globale, ZoKnow montre des avantages nets en précision de recherche et en focalisation de la réponse. À l'exception de la fidélité, ZoKnow dépasse la solution vectorielle et la solution de LLM pur en précision du contexte, rappel du contexte et pertinence de la réponse. Cela signifie que l'introduction du graphe de connaissances permet à ZoKnow de localiser plus précisément les besoins de recherche et de couvrir plus complètement les clauses et indicateurs nécessaires à la réponse. À l'inverse, la base de données vectorielle rappelle surtout des fragments par similarité sémantique ; dans les scènes complexes où clauses et indicateurs se mêlent, elle produit facilement des résultats redondants et peine à exprimer les indicateurs de contrôle structurés. La solution de LLM pur, dépourvue de données professionnelles externes, obtient des résultats faibles sur l'ensemble des indicateurs. Ce résultat montre que l'accès à des sources de données externes est une condition

centrale de l'amélioration de la précision de recherche dans les questions-réponses spécialisées en planification.

Pour les questions conceptuelles, la recherche vectorielle possède un avantage de couverture sémantique, mais ZoKnow reste plus stable dans la focalisation de la réponse. La recherche vectorielle fondée sur la similarité sémantique peut couvrir une partie des explications terminologiques et des clauses associées. Cependant, ZoKnow conserve son avance en pertinence de la réponse. Cela indique que, même lorsque des données vectorielles sont utilisées, les informations d'entités, de relations et de contraintes structurées introduites par le graphe de connaissances complètent les limites du vectoriel et aident le système à organiser les réponses autour du cœur de la question, en réduisant les généralisations et les ajouts inutiles.

Pour les questions d'indicateurs, l'avantage de ZoKnow est particulièrement marqué et explique sa supériorité globale. Les écarts entre solutions sont les plus importants dans cette catégorie. ZoKnow maintient des avantages évidents en précision du contexte, rappel du contexte et pertinence de la réponse, ce qui montre que la solution de graphe de connaissances est plus stable et explicable pour traiter des informations fortement structurées, telles que numéros de parcelles, indicateurs de contrôle et attributs numériques. C'est la principale raison de son avantage d'ensemble. En comparaison, la solution vectorielle baisse fortement dans les questions d'indicateurs, révélant la difficulté de saisir de manière stable les correspondances entre informations graphiques et tabulaires par seule similarité vectorielle. Ce résultat confirme que, sans données externes structurées, les LLMs ne sont pas adaptés aux tâches de recherche d'indicateurs du plan réglementaire exigeant forte précision et traçabilité.

En somme, par rapport aux solutions de contrôle, ZoKnow présente de faibles hallucinations et une précision élevée dans les réponses ciblées, la recherche d'indicateurs et les réponses focalisées. Il convient particulièrement aux scénarios professionnels du plan réglementaire centrés sur la vérification des indicateurs et le contrôle des clauses, et fournit une base technique pour soutenir efficacement la participation publique.

4.2 Analyse comparative des scénarios de gouvernance : ZoKnow et la version publique de One Map

Pour les besoins de gouvernance liés à la participation publique - consultation et interprétation des indicateurs et clauses, vérification et traçabilité des bases de planification, analyse comparative inter-parcelles des services publics -, la version publique de la plateforme « One Map » du plan détaillé réglementaire de Shenzhen fournit essentiellement des fonctions de visualisation, de recherche et de liste d'informations (figure 4). ZoKnow fournit au contraire des fonctions plus complètes d'interprétation, de traçabilité et d'analyse, qui répondent efficacement aux besoins concrets de gouvernance (figure 5).

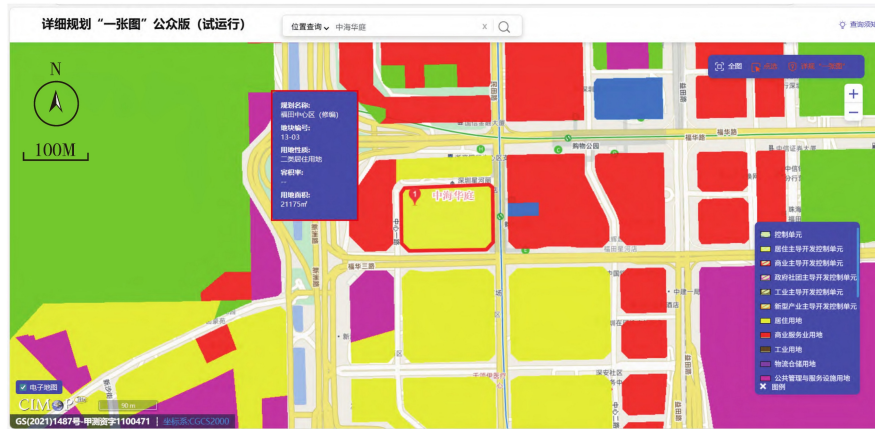


Figure 4. Version publique de la plateforme One Map pour les plans détaillés réglementaires de Shenzhen.

控规小智——面向公众参与的控制性详细规划检索智能体
Intelligent Agent for Public Participation-Oriented Regulatory Planning Retrieval

1 Query Input 2 Rule Classify 3 Query Router 4 Plan to Cypher 5 Call Neo4j 6 Answer

用户问题(User Query): 自然语言请求

我住在深圳市福田区01-01&02号片区，我想去附近的便民服务站，请告诉我附近共规划多少处便民服务站？主要布置在哪些地方？

发送 (Enter)

检索关键词，提供规划约束与供给条件

Graph Table RAW

搜索结果(Answer): 辅助协商支持

RESULT DETAIL

在《深圳市福田区01-01&02号片区(中心区)法定图则》中，共规划 6 处便民服务站，分别位于地块：03-01、06-08、07-04、10-19、11-09、13-13。以下为整理的地块相关信息：

地块编号	地块类别	设施名称	设施子类	规划地块控制指标一览表 (深圳)
地块03-01	地块单元实体	便民服务站	行政社区	规划地块控制指标一览表 (深圳)
地块06-08	地块单元实体	便民服务站	行政社区	规划地块控制指标一览表 (深圳)
地块07-04	地块单元实体	便民服务站	行政社区	规划地块控制指标一览表 (深圳)
地块10-19	地块单元实体	便民服务站	行政社区	规划地块控制指标一览表 (深圳)
地块11-09	地块单元实体	便民服务站	行政社区	规划地块控制指标一览表 (深圳)
地块13-13	地块单元实体	便民服务站	行政社区	规划地块控制指标一览表 (深圳)

数据来源：上述法定图则中的“规划地块控制指标一览表”。 来源依据

证据溯源 (Knowledge Graph)

Figure 5. Exemples d'applications de ZoKnow dans des scénarios de gouvernance.

Premièrement, ZoKnow offre une interprétation compréhensible de la sémantique réglementaire et une clarification professionnelle des concepts. Le seuil de la participation publique au plan réglementaire ne réside pas seulement dans la possibilité de retrouver un indicateur ou une clause de parcelle, mais aussi dans la capacité à convertir des formulations très professionnelles en contenus sémantiques compréhensibles par les citoyens ordinaires. La version publique de One Map à Shenzhen permet déjà de consulter le coefficient d'intensité, la nature de l'usage du sol et les limites de hauteur, mais elle n'explique pas la signification planificatrice de ces indicateurs, ce qui réduit la commodité d'usage. ZoKnow, en revanche, accompagne les résultats de recherche d'explications vulgarisées des termes spécialisés et de distinctions conceptuelles, produisant des réponses plus proches des habitudes de compréhension du public et abaissant le seuil de compréhension.

Deuxièmement, ZoKnow fournit une vérification et une traçabilité des résultats statutaires. Dans les scènes de participation publique liées à la disposition des équipements, à la supervision de la mise en oeuvre et aux retours sur les ajustements, les citoyens rencontrent souvent des problèmes de «

conclusion sans preuve » ou de « preuve difficile à localiser ». Ils manquent d'une chaîne de preuves vérifiable ou consacrent beaucoup de temps à comparer leurs demandes avec les documents de planification. Par rapport aux fonctions de requête et d'affichage de la version publique de One Map, ZoKnow fournit simultanément, lors de la sortie des résultats, des informations structurées de provenance des résultats statutaires, notamment le paragraphe textuel correspondant, le tableau d'indicateurs et la source documentaire. Il favorise ainsi une concertation fondée sur les preuves et l'attribution des responsabilités, permettant aux citoyens de participer avec des bases et des règles claires, et améliorant l'efficacité et la qualité de la participation.

Troisièmement, ZoKnow fournit un calcul analysable des données de services publics à travers les secteurs. Dans la participation au plan réglementaire, les citoyens n'ont pas seulement besoin de connaître des informations simples sur les parcelles ; ils doivent aussi traiter des questions comparatives multi-parcelles, telles que l'équilibre des services publics dans un secteur, l'existence de déficits d'équipements ou les écarts anormaux entre indicateurs de parcelles. La version publique de One Map possède une capacité limitée de traitement des données et reste largement au niveau de l'énumération d'informations. ZoKnow peut utiliser les LLMs pour traduire des demandes en langage naturel, effectuer une recherche et un calcul structurés, agréger les indicateurs, comparer les écarts, vérifier les seuils et produire des sorties statistiques. Il aide ainsi les citoyens à mieux analyser et comprendre les données de planification et les caractéristiques de développement du secteur.

5 Conclusion et perspectives

5.1 Synthèse de la méthode de construction et orientations d'approfondissement

Cette étude a discuté la trajectoire procédurale de développement des agents de planification et expliqué les principes de construction d'un agent de recherche d'informations du plan réglementaire orienté vers la participation publique. Sur cette base, en s'appuyant sur la plateforme Dify, elle propose une méthode en trois étapes : traitement des données textuelles et d'atlas, construction automatique du graphe de connaissances, puis mise en place de l'architecture centrale en couches d'interaction, de tâches, de connaissances et de moteur. La validation applicative fondée sur les données du district de Futian à Shenzhen montre que l'agent construit dans cette étude dépasse nettement la solution traditionnelle LLM avec recherche vectorielle et la solution de LLM pur en précision du contexte, rappel et autres indicateurs, surtout dans les questions-réponses portant sur des indicateurs fortement contraints. Comparé à la version publique de One Map pour les plans détaillés réglementaires de Shenzhen, l'agent permet aux citoyens d'expliquer des termes du plan réglementaire, de consulter des indicateurs de parcelles et de retracer les bases des résultats statutaires en langage naturel, abaissant ainsi le seuil technique de compréhension et de participation aux affaires du plan réglementaire.

Les recherches futures doivent approfondir la méthode dans trois directions. Premièrement, élargir les scénarios d'application de l'agent et vérifier sa capacité de généralisation dans des situations complexes de conflits d'intérêts spatiaux concrets. Deuxièmement, promouvoir la mise à jour itérative autonome de l'agent, afin qu'il évolue de manière adaptative face aux besoins réels de participation publique et à l'actualisation des connaissances de planification. Troisièmement, explorer le mécanisme d'articulation entre recherche d'informations et processus de construction du consensus par la concertation, afin d'autonomiser davantage la participation de multiples parties prenantes. Ces orientations feront évoluer l'agent d'une application unique de recherche d'informations du plan réglementaire vers un outil de

gouvernance ouvert intégré au processus de participation publique, et pourraient former un paradigme transférable et réutilisable d'infrastructure publique de connaissances urbaines.

5.2 Positionnement technique des agents de recherche d'informations de planification et extension de leurs applications de bonne gouvernance

L'agent de recherche d'informations du plan réglementaire proposé dans cette étude constitue une branche spécifique des agents de planification instrumentaux dans le domaine de la planification détaillée réglementaire. Sa caractéristique centrale est de convertir des connaissances professionnelles multisources et hétérogènes en données générales compréhensibles par le public et reconnaissables par la machine. Des agents similaires peuvent servir de « base de connaissances » dans la trajectoire procédurale de développement des agents de planification, ou être intégrés comme « sous-agents » dans des agents de planification génériques, assistants, de simulation ou autres. Ils leur fournissent des connaissances professionnelles de haute précision, traçables et actualisables, renforçant ainsi leur capacité de soutien à la décision dans la pratique.

Au-delà de la recherche d'informations du plan réglementaire orientée vers la participation publique, les agents de planification deviennent progressivement des supports techniques importants reliant connaissances professionnelles, données multisources, outils numériques et différentes catégories d'utilisateurs. Ils peuvent soutenir l'examen des résultats, l'aide à l'élaboration, l'analyse spatiale, l'allocation des équipements, la simulation de scénarios, la perception urbaine, la concertation participative et l'enseignement de la planification. Les cas pertinents montrent que la frontière d'application des agents de planification s'étend de la simple recherche d'informations et des questions-réponses à des pratiques plus complexes : appel d'outils, orchestration de tâches, génération de scénarios, simulation de processus et soutien à la décision, au service des objectifs de bonne gouvernance.

5.3 Signification de long terme des agents de planification pour la transformation du secteur dans la perspective de la bonne gouvernance

La bonne gouvernance urbaine met l'accent sur la pluralité, l'inclusion, la concertation, la co-construction et le partage. Dans cette perspective, le développement et l'application des agents de planification peuvent pousser la planification traditionnelle vers une pratique sociale plus ouverte. Ils améliorent non seulement la précision et l'efficacité du traitement des informations de planification et du jugement décisionnel, mais reconfigurent aussi la production, l'interaction et l'usage des connaissances de planification. Ils ne sont pas simplement le « jumeau numérique » du planificateur ; ils constituent une plateforme inclusive de soutien à la gouvernance pour la participation de multiples acteurs, réalisant des voies de mise en œuvre de la planification où l'expertise professionnelle, les données, l'adaptation institutionnelle et la formation du consensus sont renforcées par le numérique intelligent.

Les agents de planification transformeront profondément les flux de travail de la planification et le système de compétences des planificateurs. À l'avenir, ils pourront être intégrés à l'ensemble du processus d'élaboration, d'approbation, de modification, de mise en œuvre et de supervision des plans, élevant fortement le niveau d'automatisation et d'intelligence des activités de planification, améliorant leur scientificité et leur faisabilité, et réduisant les coûts de main-d'œuvre. Les compétences centrales des planificateurs devront évoluer en conséquence. Sur la base de la conception traditionnelle de projets, de la préparation des plans et de la coordination de gestion, ils devront renforcer leur capacité à

apprendre et appliquer les outils d'IA et le traitement des données, puis les intégrer dans tout le processus par lequel la planification sert la bonne gouvernance urbaine, afin de remodeler la valeur professionnelle.

L'autonomisation de la ville centrée sur l'humain et de la bonne gouvernance par les agents de planification sera un parcours de long terme pour le secteur. D'une part, l'intelligence artificielle se développe rapidement ; modèles, algorithmes et plateformes se renouvellent sans cesse, accélérant fortement l'itération « entre technologies ». D'autre part, la reconfiguration des relations « entre l'humain et la technologie » et « entre les humains » reste progressive et demeure contrainte par l'éthique sociale, les structures de gouvernance, la cognition publique et d'autres facteurs. Les décisions de planification doivent toujours arbitrer dynamiquement entre équité sociale, intérêt public et protection des droits privés. Cette tension profonde entre technologie et société signifie que les agents de planification ne sont pas de simples outils techniques, mais une infrastructure future de bonne gouvernance spatiale. Ils peuvent abaisser les seuils d'accès, de compréhension et d'analyse de l'information, reconfigurer les voies de communication entre gouvernement, public et profession de la planification, et améliorer l'inclusivité et l'efficacité du travail de planification. La clé de leur plein déploiement ne réside pas seulement dans l'avancement technologique, mais dans la capacité à établir des connexions efficaces entre des systèmes techniques à itération rapide et des institutions sociales relativement stables, afin que chaque personne dans la ville devienne membre d'une communauté territoriale qui apprend, s'influence et progresse ensemble.

Notes

[1] La question des hallucinations des LLMs renvoie à des contenus sémantiquement plausibles mais inexacts au regard des faits ou des clauses réglementaires.

[2] Les six règles de construction des paires question-réponse dans Ragas sont les suivantes : la réponse peut être entièrement fournie à partir du contexte donné ; l'information n'est pas un simple fait ; la réponse ne contient pas de lien ; la difficulté est modérée ; la question est raisonnable et un humain peut y répondre ; les formulations du type « fournir le contexte » ne sont pas incluses.

[3] La version publique de la plateforme « One Map » du plan détaillé réglementaire de Shenzhen publie les résultats de planification détaillée sous forme de carte électronique. Ses caractéristiques comprennent notamment la cartographisation des informations de planification, la publication dynamique des résultats et la commodité de la recherche par localisation (<https://pnr.sz.gov.cn/d-xgmap/>).

[4] Dans l'évaluation Ragas, le prompt demandait au modèle d'éviter l'invention en l'absence de preuves issues de la recherche, et la température était fixée à 0. La pertinence de réponse égale à 0 dans la solution de LLM pur signifie que la réponse ne permet pas de déduire rétrospectivement la question initiale ; elle n'évalue pas la justesse factuelle. En outre, l'étude ayant inclus la question elle-même dans le contexte, les scores élevés de fidélité des trois expériences signifient seulement que les réponses sont appuyées par le contexte donné, et non qu'elles sont nécessairement exactes factuellement.

Références

[1] LIU Y S, ZHOU Y. Planification territoriale et spatiale et système de gouvernance nationale en Chine[J]. Land Use Policy, 2021, 102: 105288.

- [2] YU Y D, CAO X D, YE D, et al. Considérations critiques dans la planification territoriale et spatiale provinciale en Chine : analyse qualitative et spatiale[J]. Humanities & Social Sciences Communications, 2025, 12(1): 1422.
- [3] WANG Yan, ZENG Xiangkun. Exploration de l'évaluation de la planification détaillée dans les limites du développement urbain selon une perspective de gestion du cycle complet[J]. Urban Planning Forum, 2024(5): 113-118.
- [4] JIANG Tao, LI Yanxin, JIANG Mei. Recherche sur le système d'éléments de contrôle du design urbain au stade de la planification détaillée réglementaire[J]. Urban Planning Forum, 2017(4): 65-73.
- [5] LIU Xiaochang, WU Zhiqiang. Construction d'un paradigme théorique du diagnostic territorial et spatial assisté par l'IA et transformation des méthodes de pensée et de pratique[J]. Urban Planning Forum, 2026(1): 12-20.
- [6] JIANG Huaxiong. Difficultés de mise en oeuvre des systèmes occidentaux de soutien à la planification, pistes de solution et enseignements[J]. Urban Planning International, 2023, 38(1): 117-123.
- [7] DARGAN S, KUMAR M, AYYAGARI M R, et al. Revue de l'apprentissage profond et de ses applications : un nouveau paradigme pour l'apprentissage automatique[J]. Archives of Computational Methods in Engineering, 2020, 27(4): 1071-1092.
- [8] JIANG H, LI M, WITTE P, et al. Bavardage urbain : explorer le potentiel des IA de type ChatGPT et génératives pour renforcer le soutien à la planification[J]. Cities, 2025, 158: 105701.
- [9] BATTY M. La transformation numérique de la planification[J]. Environment and Planning B: Urban Analytics and City Science, 2021, 48(4): 593-597.
- [10] WILSON A, TEWDWR-JONES M, COMBER R. Planification urbaine, participation publique et technologie numérique : le développement d'applications comme méthode pour susciter l'implication citoyenne dans les processus locaux de planification[J]. Environment and Planning B: Urban Analytics and City Science, 2019, 46(2): 286-302.
- [11] SHAHAB S, BAGHERI B, POTTS R. Obstacles à l'utilisation de la participation électronique dans le système de planification iranien[J]. Cities, 2021, 116: 103281.
- [12] ARANDA N R, DE WAEGEMAEKER J, VAN DE WEGHE N. Évolution des obstacles aux SIG de participation publique (PPGIS) dans la pratique de la planification spatiale[J]. Applied Geography, 2023, 155: 102999.
- [13] YANG Junyan, ZHANG Xun, SHI Yi, et al. Voir les objets et les personnes : exploration du design urbain fondée sur les portraits numériques des populations urbaines[J]. Urban Planning Forum, 2025(4): 41-49.
- [14] CHEN Jun, ZHANG Shanqi, ZHANG Bing, et al. Orientations de développement pour renforcer la planification territoriale et spatiale par l'information spatio-temporelle[J]. Urban Planning Forum, 2025(2): 20-27.
- [15] HERZOG O, PAN Haixiao, DENG Zhituan, et al. Renforcer la planification urbaine par l'intelligence artificielle de nouvelle génération : opportunités et défis[J]. Urban Planning Forum, 2023(4): 1-11.
- [16] CHEN Yourong, ZHANG Lina. Réflexions sur la transformation numérique de la planification détaillée dans le système de planification territoriale et spatiale : le cas du secteur de Nanhu à Fuzhou[J]. Urban Planning Forum, 2025(4): 96-102.

- [17] MA Chenxi, YANG Jianqiang, XU Zun, et al. Réforme et ajustement adaptatif de la planification détaillée réglementaire dans le contexte de la planification territoriale et spatiale[J]. Urban Development Studies, 2025, 31(1): 26-32.
- [18] WU Songtao, WANG Jingyuan, WEN Shipeng, et al. Hiérarchie, réponse et coordination : évolution et réflexion sur les unités de planification détaillée orientées vers l'optimisation des outils de niveau méso[J]. City Planning Review, 2025, 49(1): 97-107.
- [19] WU Zhiqiang, SHEN Qingji, WANG Yajuan, et al. Nouveau paradigme de planification : formulation du concept, système méthodologique et trajectoire pratique[J]. Urban Planning Forum, 2025(6): 11-17.
- [20] KACZMAREK I, IWANIAK A, SWIETLICKA A, et al. Une approche d'apprentissage automatique pour l'intégration des plans de développement spatial fondée sur le traitement du langage naturel[J]. Sustainable Cities and Society, 2022, 76.
- [21] DENG Z Y, FU X Y, LI C S. Automatiser l'extraction des politiques urbaines : un cadre fondé sur un grand modèle de langage pour extraire les politiques locales de chaleur des documents de planification[J]. Environment and Planning B: Urban Analytics and City Science, 2025.
- [22] SILVENNOINEN H, CHADZYNSKI A, FARAZI F, et al. Une approche du web sémantique pour les règlements d'usage du sol en planification urbaine : l'ontologie OntoZoning des zones, usages du sol et programmes pour Singapour[J]. Journal of Urban Management, 2023, 12(2): 151-167.
- [23] NIU Xinyi, LIU Sihan, SANG Tian, et al. Apprentissage professionnel des grands modèles : construire un modèle de génération d'images intégrant les connaissances de design de la morphologie spatiale urbaine[J]. Urban Planning Forum, 2025(1): 55-63.
- [24] YAN Fengying, LU Yunmo. Méthode de cognition urbaine dynamique et applications en micro-scénarios fondées sur les graphes de connaissances[J]. Urban Planning Forum, 2025(5): 39-46.
- [25] YANG Junyan, ZHU Xiao, SHAO Dian. Retour sur l'histoire : évolution sur un siècle et tendances futures des technologies de design urbain fondées sur les graphes de connaissances[J]. Urban Planning Forum, 2021(6): 20-27.
- [26] ZHANG W S Q, CHEN Y M, LIU X P, et al. Approche fondée sur un grand modèle de langage pour construire le graphe de connaissances d'un plan directeur : étude de cas à Guangzhou, Chine[J]. Land Use Policy, 2025, 159: 106395.
- [27] ZHU H, ZHANG W J, HUANG N X, et al. PlanGPT : renforcer la planification urbaine par un modèle de langage spécialisé et une recherche efficace[J/OL]. ArXiv Preprint, 2024.
<https://arxiv.org/abs/2402.19273>.
- [28] WU Zhiqiang, YAN Juan, XU Haowen, et al. Dix questions clés annuelles du développement de la discipline de la planification urbaine et rurale, 2024-2025[J]. Urban Planning Forum, 2024(6): 8-11.
- [29] WOOLDRIDGE M, JENNINGS N R. Agents intelligents : théorie et pratique[J]. Knowledge Engineering Review, 1995, 10(2): 115-152.
- [30] WANG L, MA C, FENG X Y, et al. Revue des agents autonomes fondés sur les grands modèles de langage[J]. Frontiers of Computer Science, 2024, 18(6): 186345.
- [31] ZHAO Guangying, LIU Shujuan. Réflexion sur la logique de guidage et de contrôle de la planification du point de vue de l'acte administratif : contenu obligatoire et contrôle rigide[J]. Urban Planning Forum, 2025(5): 31-38.

Traduction assistée par IA