

Agent de planification urbaine : concept, architecture systémique et réflexions sur la pratique

Auteurs

Wu Zhiqiang ; Wu Tao ; Zhou Mimi ; Zhang Jiaqi ; Jiang Qingrui ; Yang Shujie ; Chen Yijie ; Wu Xiaolong

Résumé

L'intelligence artificielle transforme en profondeur la production des savoirs, l'organisation méthodologique et les mécanismes de gouvernance de la planification urbaine. Face à la complexité croissante des systèmes urbains, à la difficulté accrue de coordonner l'intérêt public et à l'incertitude grandissante de la mise en œuvre, la planification urbaine doit se doter d'une méthodologie intelligente, professionnelle et couvrant l'ensemble du processus. Cet article propose le concept d'« agent de planification urbaine », défini comme un système intelligent professionnel qui prend les données urbaines multisources pour base perceptive, mobilise les connaissances de planification, les règlements et normes, les méthodes de modélisation, l'expérience des cas et les retours de mise en œuvre, et fonde ses jugements sur la valeur publique, l'ordre spatial et les objectifs de gouvernance. L'étude examine son contenu conceptuel, sa structure de capacités, son architecture systémique, sa carte d'applications et son ancrage dans le contexte chinois. Elle propose un cadre de huit capacités - perception, cognition, simulation, création, décision, exécution, coordination et apprentissage -, construit une architecture opérationnelle en quatre couches - données, calcul, décision et application - et distingue huit agents spécialisés : perception spatio-temporelle, cognition des régularités, simulation de planification, élaboration de plans, décision d'action, coordination organisationnelle, réponse d'urgence et itération des connaissances. Dans le contexte chinois, les agents de planification doivent être intégrés au système de planification territoriale et spatiale et articulés avec la gestion unifiée des ressources naturelles, l'évaluation urbaine, le renouvellement urbain et la construction du gouvernement numérique. Leur fonctionnement doit s'appuyer sur cinq bases : ressources naturelles, construction urbaine, conditions socio-économiques, normes et règlements de planification, et cas de planification. Les agents de planification urbaine peuvent faire évoluer les méthodes de planification, d'une production par étapes de documents vers une gouvernance spatiale continue, et offrir des voies théoriques et pratiques pour la gouvernance territoriale et la planification collaborative homme-IA.

Mots-clés

agent de planification urbaine ; planification intelligente ; méthodes de planification urbaine ; gouvernance spatiale ; collaboration homme-agent

1 La planification urbaine traditionnelle appelle un renforcement méthodologique intelligent

Dans la pratique de longue durée, les méthodes traditionnelles de planification ont comporté de nombreuses zones aveugles dans l'enquête, l'analyse, l'élaboration des plans, l'examen technique et la gestion de la mise en œuvre : parfois par manque d'appui quantitatif, parfois par insuffisance du diagnostic précis [1-4]. La rationalité écologique d'ensemble de la planification est restée longtemps entravée par l'arbitraire de l'autorité, les décisions fondées sur l'intuition, la négligence des besoins objectifs des habitants et la recherche d'un formalisme spatial. Elle a aussi trop peu exploré de manière systématique l'intelligence interne de la vie urbaine et les lois de son évolution, ce qui a empêché de former une méthodologie disciplinaire complète [5].

Les transformations profondes de l'urbanisation exigent toutefois d'élargir les capacités de la planification. Des enquêtes non systématiques ne peuvent saisir à temps les causes profondes des changements dans le fonctionnement urbain et la demande sociale. La production de plans dominée par une autorité unique peine à arbitrer simultanément entre objectifs, contraintes et scénarios multiples. Les mécanismes de mise en œuvre répartis entre plusieurs services ne créent pas aisément une coordination transdisciplinaire, intersubjective et multiniveau. Les écarts, les performances et les nouveaux problèmes apparus pendant l'exécution ne sont pas non plus réinjectés assez vite dans les systèmes de préparation, d'examen et de maintenance dynamique [6-7]. Le défi central n'est donc plus seulement d'améliorer l'efficacité de certains maillons, mais de faire émerger une nouvelle planification, d'innover le paradigme et de reconstruire de manière systémique les capacités de tout le processus.

Les technologies numériques et intelligentes offrent une possibilité historique de renforcer les modes de pensée et de travail de la planification urbaine. L'introduction de systèmes numériques intelligents, notamment le city information modeling (CIM), les centres opérationnels urbains et les jumeaux numériques intergénérationnels, a considérablement amélioré l'extraction de données, l'analyse spatiale, la génération de plans, le suivi du fonctionnement et la coordination de la gouvernance [8-10]. Mais ces progrès ponctuels ne suffisent pas à produire un saut intégré de l'intelligence depuis le diagnostic jusqu'à l'élaboration et à l'exploitation. Les applications existantes restent fragmentées : certains systèmes privilégient les plateformes de données sans intervenir dans les commandes d'action ni dans la coordination globale ; un système méthodologique continu reliant identification des problèmes, simulation de scénarios, vérification des règles, retours de mise en œuvre et coordination des acteurs n'est pas encore pleinement constitué [11]. L'effet profond de la technologie intelligente sur la planification réside donc dans la quantification, la systématisation écologique et l'intégration du cycle complet entre pensée et action, qui réorganisent historiquement les rapports entre savoir de planification, jugement de planification et action de planification.

Ces dernières années, les grands modèles et les technologies d'agents ont progressivement doté les systèmes intelligents de capacités de compréhension des tâches, de perception de l'environnement, d'appel d'outils, de mémoire du processus, de planification des actions et d'apprentissage par retour. Ils ouvrent de nouvelles possibilités pour la planification urbaine : identification de l'état présent, diagnostic des problèmes, simulation de scénarios, génération de plans, contrôle des règles, communication publique, suivi de la mise en œuvre et coordination interservices ne doivent plus rester des segments isolés ; ils peuvent devenir un processus intelligent continu, rétroactif et coévolutif [12-16]. Dans ce contexte, la planification urbaine a besoin d'un concept ayant une portée disciplinaire et professionnelle pour expliquer et orienter l'entrée de l'IA dans le champ.

Sur cette base, l'article propose le concept d'agent de planification. Il s'agit d'un système intelligent professionnel orienté vers tout le processus de planification urbaine, capable d'assister ou de participer à la perception, à la cognition, à la simulation, à la création, à la décision, à l'exécution et à l'apprentissage. Son cœur n'est pas de remplacer le planificateur dans une tâche isolée, mais d'organiser les données, règles de connaissance, méthodes de modélisation, expériences de cas et retours d'exécution dispersés en un système méthodologique opérationnel, vérifiable et itératif. Il reconfigure ainsi les relations entre perception de l'état urbain, cognition professionnelle, jugement de valeur, action spatiale et retour de mise en œuvre [17-18].

Autour de cette construction conceptuelle, l'article développe quatre aspects. Premièrement, il définit le contenu fondamental de l'agent de planification et le distingue des systèmes d'aide à la planification, des plateformes de ville intelligente, du « cerveau urbain » et des agents d'IA généralistes. Deuxièmement, il propose une structure de capacités faite de perception, cognition, simulation, création, décision, exécution, coordination et apprentissage, et explique sa logique opérationnelle au service de tout le processus. Troisièmement, il construit une carte d'applications de huit agents spécialisés : perception spatio-temporelle, cognition des régularités, simulation de planification, élaboration de plans, décision d'action, coordination organisationnelle, réponse d'urgence et itération des connaissances. Quatrièmement, en s'appuyant sur près de vingt ans d'exploration de la numérisation intelligente depuis 2006, notamment sur cinq cycles consécutifs de recherches de l'Académie chinoise d'ingénierie depuis 2016, il synthétise l'expérience acquise par expérimentation, essais, erreurs, réflexion et itération. Cette expérience couvre 96 projets et études portant sur la stratégie urbaine régionale, la planification territoriale et spatiale générale, le design urbain, le renouvellement urbain, l'image urbaine, la couleur urbaine et la vitalité de l'innovation. Elle permet de résumer pour la première fois vingt ans de pratique numérique intelligente et dix ans de réflexion théorique sur la planification renforcée par l'IA.

2 Processus mondial de développement des agents de planification

2.1 Cinq étapes historiques de développement

Les fondements des systèmes intelligents de planification remontent à près d'un siècle de recherches : depuis les descriptions morphologiques de l'école de Conzen au début du XXe siècle et les macromodèles de transport des années 1950 jusqu'aux explorations récentes de 2025 associant grands modèles et tâches de planification. Du point de vue temporel, ces recherches connaissent une croissance explosive après 2023, année où Park et ses coauteurs ont proposé les agents génératifs et que les auteurs considèrent comme l'année inaugurale de l'AIGP (Artificial Intelligence Generated Planning). Cela marque le passage de l'IA de la reconnaissance, de l'analyse et de la prédiction urbaines à la génération de plans et à l'expression du projet.

2.1.1 Étape 1 : émergence fondée sur les règles et la logique symbolique, 1982-1996

Cette étape s'appuie sur les systèmes adaptatifs complexes (CAS), les automates cellulaires (CA) et les premiers systèmes multi-agents (MAS). La discipline commence à considérer la ville comme un « organisme vivant » dynamique plutôt que comme un plan statique [19]. Sa caractéristique centrale est la simulation ascendante par règles : terrains, routes, véhicules, logements, parcelles, capitaux et demande du marché sont abstraits en micro-acteurs urbains, tandis que la logique symbolique et les règles de transformation simulent l'évolution de la forme spatiale. À partir de 1 700 cas de développement foncier à Shanghai, les premiers travaux des auteurs ont exploré les « informations souples » et la simulation de l'évolution spatiale urbaine [20-21]. Entre 1988 et 1992, ces méthodes ont été appliquées à Hambourg, Francfort et Berlin, avec l'introduction progressive de l'informatique et du traitement numérique intelligent [22]. Cette étape a formulé l'idéal d'une planification écologique rationnelle et posé les bases épistémologiques des grandes bases de données urbaines et des plateformes de calcul. L'équipe des auteurs a commencé dès 1988 à construire la première génération de grande base de données urbaine.

2.1.2 Étape 2 : percées dans l'exploration de données et le calcul perceptif, 1996-2006

Cette étape repose sur l'informatique urbaine, les sciences des données spatiales, l'apprentissage automatique classique et les premiers réseaux neuronaux. La recherche en planification intelligente passe d'une logique guidée par les règles à une logique guidée par les données. Sa caractéristique principale est la réduction dimensionnelle et l'extraction de caractéristiques pour les projets de planification et de design. Grâce aux données spatio-temporelles multisources, aux images de scènes, aux simulations microclimatiques, aux environnements hydrologiques, aux données de transport, d'économie et d'activités dynamiques, une perception intégrée de la ville et du site devient possible. La simulation de la planification de l'Exposition universelle de Shanghai en est une pratique majeure : pour 70 millions de visites, un flux quotidien d'un million de personnes, 256 pavillons et un parc de 6,28 km², l'équipe a simulé chaque jour de 9 h à minuit la distribution spatiale d'un million de personnes, comparé plusieurs scénarios, identifié les zones de congestion à haut risque et optimisé les plans. Dix sites particulièrement exposés aux risques de bousculade ont été repérés puis améliorés jusqu'à suppression des dangers. Cette simulation constitue la première simulation intelligente de distribution spatiale d'une population au niveau du million dans l'histoire humaine ; l'échelle de 22 525 unités spatiales fut également une première mondiale en planification urbaine. À cette étape, l'équipe a aussi fait évoluer la plus grande base de données urbaine de deuxième génération au monde.

2.1.3 Étape 3 : formation de la théorie de l'intelligence urbaine et de la logique générative, 2006-2016

Cette étape s'appuie sur l'apprentissage profond, l'apprentissage par renforcement, la régression multimodale, les modèles génératifs et les méthodes explicables. La recherche forme alors la boucle méta-logique « perception - jugement - action - apprentissage » de l'agent de planification. Vers 2012, l'équipe des auteurs propose systématiquement la théorie du City IQ, soulignant que la ville doit non seulement être perçue et diagnostiquée, mais aussi posséder des capacités de jugement, d'action et d'apprentissage [23]. La caractéristique centrale est le passage du diagnostic à la génération : le système intelligent ne livre plus seulement des résultats d'évaluation, il commence à produire une logique de génération des plans compréhensible, comparable et traçable. L'IA entre alors dans des scénarios tels que l'amélioration de l'intégration fonctionnelle, l'optimisation de la qualité des fronts d'eau, l'organisation des espaces d'innovation scientifique et technologique et la génération de concepts de design.

2.1.4 Étape 4 : percée systémique de la planification renforcée par l'IA, 2016-2023

Après 2016, la recherche en planification intelligente se connecte pleinement au développement mondial de l'IA et entre dans une phase de percée systémique. Les auteurs participent au projet stratégique IA 2.0 de l'Académie chinoise d'ingénierie, consacré au renforcement de la ville et de la planification par l'IA. L'apprentissage profond par renforcement (DRL), les réseaux antagonistes génératifs (GANs), l'apprentissage multimodal et l'IA explicable (XAI/SHAP) déplacent les agents des outils d'analyse vers la conception. Trois traits dominent : le passage du diagnostic à la génération pour simuler des agencements à l'échelle de la rue, du quartier et du secteur sous contraintes spatiales complexes ; la sortie de la « boîte noire » par des méthodes explicables permettant au planificateur de comprendre et vérifier les trajectoires de jugement ; l'intégration multimodale des vecteurs spatiaux, images de télédétection, vues de rue et textes de planification. L'équipe des auteurs promeut alors

l'application de l'IA à la planification urbaine et développe des cadres algorithmiques pour la génération assistée des plans et l'amélioration de la qualité spatiale.

2.1.5 Étape 5 : maturité portée par les grands modèles et l'interaction homme-agent de bout en bout, depuis 2024

Depuis 2024, les agents de planification entrent dans une phase dominée par les grands modèles et l'interaction homme-agent (HAI) à l'échelle de tout le processus. Les modèles multimodaux de grande taille (MLLM), les architectures LLM Agents et l'apprentissage fédéré font passer les agents d'outils isolés à des systèmes de plateforme, systématiques et collaboratifs. Le trait central est la formation d'un écosystème HAI complet : les agents peuvent traverser la construction de plateformes, la conception de projets, la validation académique et l'expression d'ingénierie, avec des capacités de bout en bout allant de la simulation conceptuelle à la production haute fidélité. Dans les domaines sensibles comme la planification territoriale et spatiale, les plateformes intelligentes commencent aussi à intégrer classification de sécurité, protection et contrôle de tout le processus. Les agents entraînés sur la littérature professionnelle, les plans, les normes politiques et l'expérience d'ingénierie deviennent des « systèmes experts 2.0 » dotés d'un sens commun sectoriel. Les auteurs insistent sur l'intégration profonde de l'intelligence de la machine et de la sagesse humaine, afin que l'agent de planification ne soit plus un simple outil graphique, mais un collaborateur numérique pour l'innovation scientifique, la conception de trajectoires techniques et la coordination de la gouvernance spatiale.

2.2 Cinq directions de développement

2.2.1 Direction 1 : grands modèles de langage et systèmes multi-agents - cerveau cognitif et collaboratif

Cette direction concerne le cadre cognitif de base des agents : architecture cognitive, mémoire longue, planification des tâches, appel d'outils, répartition des rôles et mécanismes de consensus. Son objectif est de permettre à l'agent de comprendre les tâches, de coordonner plusieurs parties et de produire des jugements d'action dans des contextes urbains complexes. Elle peut aussi transformer gouvernement, planificateurs, promoteurs et citoyens en agents de rôle dotés d'objectifs et de contraintes différents, afin de simuler les jeux sociaux de la planification réelle. Les systèmes symboliques et à règles des années 1970-1990, ainsi que les travaux de Wooldridge et al. [24], ont posé les bases des agents distribués. Dans les années 2000-2010, l'IA distribuée et les systèmes multi-agents sont largement utilisés pour simuler les scénarios d'usage du sol et la localisation résidentielle. En 2016, le modèle de jeu urbain CityGo développé par l'équipe des auteurs démontre également l'importance de la décision collaborative par simulation de jeux multi-acteurs. Depuis 2023, les agents génératifs fondés sur les LLM, comme les Generative Agents de Park et al. [25], donnent aux agents mémoire, réflexion et comportements personnalisés ; MetaGPT de Hong et al. [26] montre de nouvelles possibilités d'organisation des rôles et des flux de travail. Les principaux verrous sont la dérive de mémoire dans les simulations longues, les blocages et polarisations collectives dans les jeux sociaux, et l'insuffisante authenticité des rôles.

2.2.2 Direction 2 : design urbain génératif et génération géométrique spatiale - corps incarné et mains

Cette direction détermine si l'agent peut transformer objectifs textuels, normes de planification et contraintes spatiales en plans visibles et évaluables. Dans les années 1980-2000, la CAO et la modélisation paramétrique permettent aux concepteurs de contrôler la géométrie par règles et

paramètres. Entre 2016 et 2023, la génération spatiale par apprentissage profond, notamment les modèles conditionnels Pix2Pix [27], fournit une base à la génération d'images spatiales ; l'apprentissage par renforcement et les réseaux neuronaux de graphes sont également utilisés pour optimiser les usages du sol. Depuis 2024, les agents IA multimodaux intègrent modèles de diffusion, ControlNet, grands modèles et moteurs SIG, faisant passer les tâches de planification de l'entrée sémantique à la génération spatiale. Les verrous résident dans les ruptures sémantiques des topologies de haute dimension, les distorsions entre échelles et l'instabilité de la conversion du langage en paramètres de planification.

2.2.3 Direction 3 : morphologie urbaine et syntaxe spatiale - sens commun professionnel et rigueur scientifique

L'IA générative peut produire des schémas plausibles mais dépourvus de fondement professionnel. Cette direction fournit donc des contraintes scientifiques et un seuil anti-hallucination, afin que les plans ne soient pas seulement « beaux », mais conformes aux lois de l'évolution spatiale. La morphologie qualitative classique des années 1970, notamment l'école de Conzen et la tradition italienne, analyse le tissu urbain à partir des cartes historiques. Entre les années 1980 et 2010, la syntaxe spatiale et la morphologie computationnelle se consolident : Hillier et al. [28] posent les bases de la syntaxe spatiale, tandis que Batty [29] explique l'évolution de l'espace urbain par les systèmes complexes. Depuis 2023, dans une phase doublement portée par les données et la théorie, les connaissances morphologiques sont traduites en graphes de connaissances, fonctions d'évaluation et contraintes génératives. L'équipe des auteurs a construit des « arbres urbains » à une résolution de 30 m sur quarante ans et classé 13 861 zones bâties en sept types de développement, montrant que la forme urbaine possède des régularités reconnaissables, généralisables et apprenables. La difficulté tient à la capacité limitée de la syntaxe spatiale à exprimer le contexte historique et l'expérience vécue, ainsi qu'au décalage persistant entre modèles génératifs et théorie morphologique.

2.2.4 Direction 4 : simulation de population et de transport fondée sur les agents - bac à sable comportemental et test de charge

Cette direction sert à tester les conséquences comportementales et la performance systémique des plans en situation réelle. Elle prolonge les prévisions de demande de transport et l'estimation de charge des réseaux des années 1950-1980, puis les modèles ABM et les simulations de trafic microscopiques des années 1990-2020 [30-31], jusqu'aux simulations de comportements sociaux renforcées par les LLM depuis 2023. Les percées nécessaires concernent la conciliation entre ressources de calcul et retour en temps réel, la vérifiabilité des comportements émergents, et la fermeture de la boucle entre résultats de simulation et génération des plans.

2.2.5 Direction 5 : optimisation multi-objectifs et évaluation de la planification - évolution et gouvernail

Cette direction aide l'agent à identifier les conflits entre plans, comparer leurs performances et corriger les solutions par itération. L'optimisation numérique mono-objectif des années 1960-1990 traite par exemple la localisation d'équipements par programmation linéaire. Dans les années 2000-2020, les algorithmes heuristiques et l'optimisation multi-objectifs, tels que NSGA-II, introduisent l'optimisation de Pareto dans les problèmes de planification complexes, tandis que des modèles comme ENVI-met fournissent des outils d'évaluation du microclimat et de la performance environnementale [32]. Depuis 2023, les boucles human-in-the-loop et l'apprentissage par renforcement incorporent l'expérience des planificateurs et les retours du public dans la correction des plans. Les difficultés majeures tiennent à la

forte dépendance des pondérations à l'expérience des experts, à l'impossibilité de réduire aisément les logiques de valeur à une fonction d'optimisation stable, et à la traduction difficile de l'intuition et du jugement esthétique du maître planificateur en paramètres exécutables.

Tableau 1. Aperçu des cinq grandes directions liées aux agents de planification urbaine

Direction technique	Capacité correspondante	Apport à l'agent de planification	Problèmes à résoudre
Grands modèles de langage et systèmes multi-agents	Cognition et coordination	Compréhension des tâches, répartition des rôles, appel d'outils, mémoire du processus et négociation multi-acteurs	Dérive de mémoire longue, polarisation collective et authenticité insuffisante des rôles
Design urbain génératif et génération géométrique spatiale	Production spatiale	Organisation de l'usage du sol, des voiries, des formes bâties et génération de plans	Instabilité topologique, faible cohérence inter-échelles et difficulté d'intégrer les normes
Morphologie urbaine et syntaxe spatiale	Contraintes professionnelles	Compréhension des structures spatiales, identification des régularités morphologiques et contrôle professionnel des plans	Paramétrisation difficile des concepts morphologiques ; expression computationnelle limitée du contexte historique et de l'expérience locale
Simulation de population et de transport	Simulation comportementale	Simulation des chaînes d'activité, tests de fonctionnement du transport et évaluation de charge des plans	Coût de calcul élevé, validation difficile des paramètres comportementaux et boucle faible avec la génération
Optimisation multi-objectifs et évaluation de la planification	Évolution par rétroaction	Comparaison des plans, identification des conflits, évaluation des performances et optimisation itérative	Pondérations dépendantes de la négociation et difficulté de convertir les jugements de valeur en fonctions d'optimisation

Globalement, le développement mondial des agents de planification est un croisement entre cognition de la forme urbaine, simulation des comportements, génération spatiale, évaluation de la planification et collaboration homme-agent. Les cinq étapes historiques révèlent l'évolution depuis la simulation par règles, la perception de données et la théorie de l'intelligence urbaine vers l'autonomisation par l'IA puis les grands modèles. Les cinq directions montrent comment cette évolution devient capacité concrète : les LLM et systèmes multi-agents fournissent la base cognitive et collaborative ; le design urbain génératif fournit la capacité de production spatiale ; la morphologie et la syntaxe spatiale apportent des

contraintes professionnelles ; la simulation de population et de transport fournit l'épreuve comportementale ; l'optimisation multi-objectifs et l'évaluation assurent la correction par retour. L'agent de planification doit donc être compris comme un système composite né des méthodes de pensée planificatrice, des modèles de science urbaine et des technologies d'IA. Sa valeur centrale est de transformer un travail longtemps fondé sur l'expérience, les plans graphiques et les résultats par étapes en une méthodologie intelligente capable de percevoir continûment la ville, d'expliquer ses régularités, de générer des plans, de vérifier les règles, de réinjecter l'exécution et de coordonner la gouvernance.

3 Architecture technique : composition des capacités de l'agent de planification

L'agent de planification urbaine (UPA) n'est pas un modèle d'IA isolé. C'est un système intelligent composite intégrant perception spatio-temporelle multisource, raisonnement professionnel fondé sur les connaissances, simulation de scénarios complexes et exécution autonome des tâches. Sa logique centrale consiste à utiliser un grand modèle de langage (LLM) comme « centre » cognitif. Par rapport aux systèmes traditionnels d'aide à la planification (PSS), il insiste davantage sur la décomposition des objectifs, l'appel d'outils, la mémoire du processus, l'apprentissage par retour et la coordination de l'action.

3.1 Définition conceptuelle

L'agent de planification est un système intelligent professionnel orienté vers l'ensemble du processus de planification urbaine. Il prend les données urbaines multisources pour base perceptive, les connaissances de planification, règlements, normes, méthodes de modélisation, expériences de cas et retours d'exécution pour appui cognitif, et la valeur publique, l'ordre spatial et les objectifs de gouvernance comme bases de jugement. Il peut assister ou participer à la perception, à la cognition, à la simulation, à la décision, à l'exécution, à la coordination et à l'apprentissage, et servir l'élaboration des plans, l'examen, le suivi de la mise en œuvre, l'évaluation et la coordination de la gouvernance.

Cette définition suppose trois distinctions. Premièrement, l'agent de planification diffère des outils ordinaires d'efficacité : l'outil exécute une commande ponctuelle, tandis que l'agent décompose les tâches autour d'un objectif, appelle des outils, enregistre le processus et corrige son action à partir des retours. Deuxièmement, il diffère des agents d'IA généralistes. La planification n'est pas une simple génération spatiale ; elle relève d'un processus de décision publique impliquant ressources foncières, services publics, sécurité écologique, culture historique, équité sociale et responsabilité intergénérationnelle [33-34]. L'agent doit donc être intégré aux objectifs de planification, aux contraintes réglementaires, à l'expérience locale et aux procédures institutionnelles. Troisièmement, il diffère d'un modèle unique : il ne s'agit pas d'appliquer un algorithme à une tâche, mais d'organiser données, modèles, connaissances, règles, valeurs et retours en un système méthodologique de planification opérationnel.

Sur le plan méthodologique, l'agent reconfigure trois relations. La première est celle des faits et des problèmes : les données sur l'état urbain sont transformées en problèmes spatiaux et en enjeux de gouvernance. La deuxième est celle du savoir et du jugement : textes réglementaires, expérience experte et matériaux de cas sont organisés en structures de connaissance raisonnées, explicables et vérifiables. La troisième est celle des plans et de l'action : les plans sont intégrés à l'examen, à la mise en œuvre, au suivi, aux retours et à la coordination, afin de produire de véritables effets de gouvernance spatiale.

3.2 Formation des capacités : huit capacités spécialisées

La structure des capacités de l'agent doit être déduite du processus de planification lui-même. La planification urbaine n'est pas une opération ponctuelle de traitement d'information, mais un processus continu autour de l'état urbain, des problèmes spatiaux, des scénarios futurs, des jugements de valeur, des actions de mise en œuvre et des corrections par retour. L'agent doit donc former huit capacités : perception, cognition, simulation, création, décision, exécution, coordination et apprentissage. Elles ne constituent pas une liste de fonctions parallèles, mais l'expression capacitaire du processus planificateur dans un système intelligent.

La perception spatio-temporelle correspond à la saisie continue de l'état réel de la ville. Par les données relatives aux ressources naturelles, à l'état bâti, aux activités de population, à l'économie industrielle, aux déplacements, à l'environnement, aux services publics, aux opinions et au suivi de la mise en œuvre, l'agent identifie les changements urbains et fait passer la connaissance planificatrice d'enquêtes périodiques à une observation continue.

La cognition des régularités correspond à l'explication professionnelle des problèmes urbains : transformer les faits de données en explications de mécanismes spatiaux, les phénomènes locaux en enjeux de planification, et les jugements d'expérience en structures de connaissance réutilisables.

La simulation du futur correspond à l'organisation des possibles. Par la définition de scénarios, la simulation de modèles, la génération de plans et l'évaluation des impacts, l'agent convertit l'incertitude en ensembles de scénarios comparables [35].

La création de plans correspond à l'élaboration substantielle des plans et des résultats réglementaires. Sur la base des scénarios simulés, l'agent traduit les intentions de planification en plans spatiaux et règles de contrôle opérationnels par génération de design, allocation précise des éléments, rédaction de textes et production automatique des dessins.

La décision d'action correspond au traitement de la valeur publique et des conflits entre objectifs. Elle doit organiser les objectifs, normes, modèles d'évaluation, expériences expertes et retours publics en fondements de jugement explicables [36].

L'exécution ascendante et descendante traduit les jugements de planification en procédures de travail : vérification des règles, production de résultats, calcul d'indicateurs, détection des conflits spatiaux, décomposition des tâches, appariement des projets et séquençage de la mise en œuvre [37].

La coordination multipartite répond au besoin organisationnel de la planification comme processus de gouvernance publique. Par décomposition des objectifs, suivi des tâches, partage d'information, agrégation des avis et négociation des plans, l'agent favorise une action mieux coordonnée entre services, niveaux, régions et acteurs sociaux.

L'apprentissage automatique correspond à la mise à jour dynamique du système. Par accumulation de cas, suivi de l'exécution, retours du public, corrections d'experts et révisions des règles, il optimise continuellement les structures de connaissances, règles de jugement et stratégies d'action. Ces huit capacités constituent une chaîne de capacités processuelles, permettant à l'agent de devenir un système méthodologique pour l'ensemble de la planification.

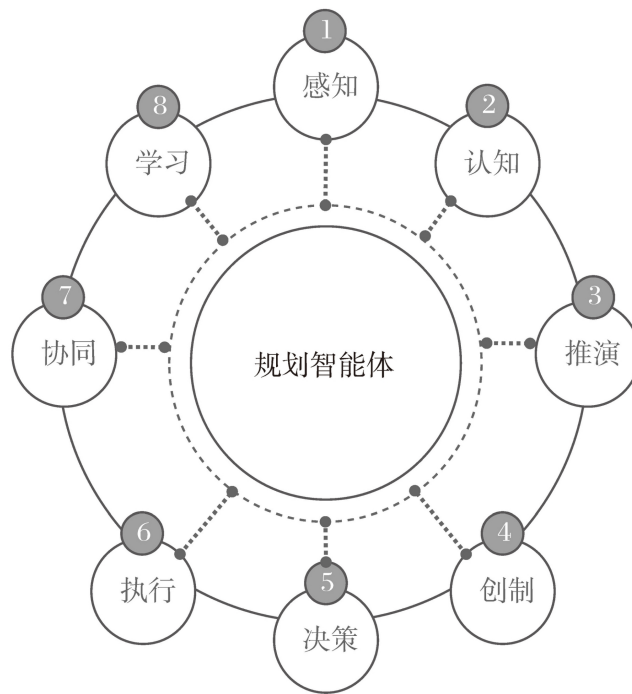


Figure 1. Structure des capacités de l'agent de planification urbaine.

3.3 Architecture de base : données, calcul, décision et application

Le fonctionnement des capacités de l'agent exige une architecture claire. En combinant le flux de travail de la planification et la logique des systèmes intelligents, l'agent peut être composé de quatre couches : données, calcul, décision et application. La couche de données fournit l'état urbain et l'information de planification ; la couche de calcul réalise l'identification des problèmes et la simulation des plans ; la couche décisionnelle forme les arbitrages de valeur et les jugements de règles ; la couche d'application conduit l'exécution des tâches et la coordination de la gouvernance. La portée théorique de cette architecture est d'organiser données urbaines, savoirs de planification, méthodes de modélisation, valeur publique et actions de gouvernance en un système méthodologique opérationnel, vérifiable et itératif.

La couche de données constitue la base factuelle. Elle organise les données de manière spatiale, temporelle, objectale et sémantique. Les données sur les ressources naturelles, la construction urbaine, les conditions socio-économiques, les opinions publiques et le suivi de l'exécution soutiennent respectivement l'identification des lignes de fond, le jugement sur l'état présent, l'analyse de la demande, la compréhension des revendications et l'ajustement par retour.

La couche de calcul est le moment de génération cognitive. Elle transforme les données en identification des problèmes, analyse spatiale, simulation de scénarios, génération de plans, évaluation des impacts et vérification des règles. Elle peut appeler l'analyse géospatiale, la simulation urbaine, les graphes de connaissances, l'apprentissage automatique, les modèles génératifs et l'optimisation multi-objectifs, mais son noyau est de convertir les phénomènes urbains complexes en problèmes de planification explicables.

La couche de décision organise la valeur. Elle place les résultats de calcul dans le cadre de la valeur publique, des objectifs de planification, des normes réglementaires, de l'expérience experte et des contraintes de mise en œuvre. La planification urbaine est un choix public qui doit être explicable, examinable et responsable dans un contexte donné.

La couche d'application transforme en action. Elle introduit les résultats des données, du calcul et de la décision dans l'élaboration, l'examen, le suivi, la communication publique, la réponse d'urgence et la coordination interservices. Les nouvelles données, problèmes et rétroactions issus de l'application reviennent vers la couche de données et actualisent modèles, règles et usages. L'architecture à quatre couches forme ainsi une boucle fermée entre état urbain, cognition de planification, valeur publique et action de gouvernance.

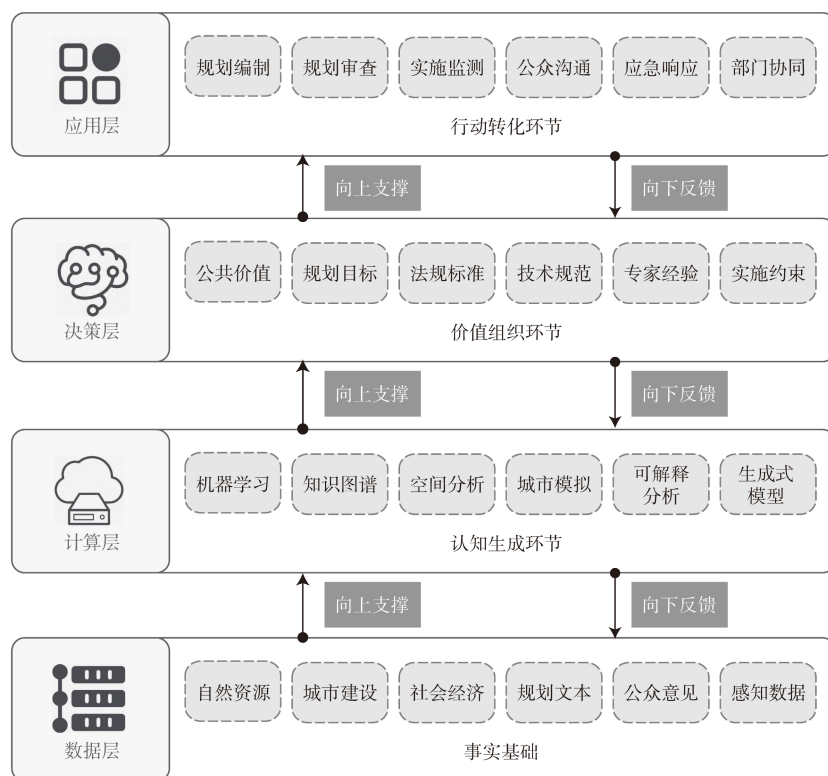


Figure 2. Architecture de base de l'agent de planification urbaine.

4 Carte des applications : huit agents spécialisés pour l'ensemble du processus

L'entrée de l'agent dans la planification urbaine prend sens par l'organisation systématique de tout le processus. La planification doit intégrer les demandes publiques, identifier les problèmes urbains, former des plans spatiaux, maintenir les règles institutionnelles, évaluer les effets de mise en œuvre, répondre aux risques exceptionnels et coordonner l'action de multiples acteurs. Par commodité, cet article appelle « agents spécialisés » les agents professionnels orientés vers des tâches de planification particulières. L'ensemble du processus peut être résumé en huit types : perception spatio-temporelle, cognition des régularités, simulation de planification, élaboration de plans, décision d'action, coordination organisationnelle, réponse d'urgence et itération des connaissances. Ils correspondent au diagnostic de l'état urbain, à l'identification des mécanismes spatiaux, à la formation des plans, à la

vérification des règles, à l'évaluation de la mise en œuvre, à la coordination de l'action, à la gouvernance de la résilience et à la mise à jour des connaissances.

4.1 Agent de perception spatio-temporelle : identification continue de l'état urbain

Cet agent traite les informations multisources sur les ressources naturelles, l'état bâti, les activités de population, l'économie industrielle, les déplacements, l'environnement, les services publics, les opinions et le suivi de l'exécution [38-39]. Il identifie continûment l'état de fonctionnement de la ville et les changements spatiaux. Par traitement spatial, temporel et objectal, il convertit des données dispersées, des demandes sociales et des informations opérationnelles en résultats perceptifs dotés de localisation, type, intensité et tendance. Il fait passer la connaissance de la ville de l'enquête périodique à l'observation continue et fournit une carte de base réelle pour la cognition des régularités et la simulation.

4.2 Agent de cognition des régularités : explication diagnostique des mécanismes spatiaux

Cet agent aborde les problèmes complexes de structure démographique, fonctions spatiales, fonctionnement du transport, services publics, environnement écologique, offre de logement et capacité de gouvernance [40]. Il révèle les structures spatiales, mécanismes d'opération et écarts de mise en œuvre derrière les phénomènes observés. En transformant les faits de données en explications de mécanismes, les phénomènes locaux en questions de planification et les jugements d'expérience en connaissances réutilisables, il soutient le diagnostic des problèmes urbains, la hiérarchisation de la gouvernance et le choix des interventions.

4.3 Agent de simulation de planification : organisation et comparaison des scénarios futurs

Cet agent traite l'incertitude du développement urbain. Par scénarisation, simulation de modèles, évaluation des impacts et comparaison de plans, il convertit les changements démographiques, l'évolution industrielle, l'organisation des transports, les contraintes écologiques et les rythmes de renouvellement en scénarios futurs comparables. Il aide le planificateur à voir les conséquences spatiales de différents choix et transforme les problèmes futurs difficiles à saisir en ensembles calculables, comparables et discutables.

4.4 Agent d'élaboration de plans : création de plans spatiaux et de résultats réglementaires

Cet agent vise la production de plans spatiaux et de résultats réglementaires. Sous objectifs de planification, lignes de fond, conditions d'exécution et supervision humaine clairement définis, il aide à organiser la structure spatiale, optimiser les usages du sol, affecter précisément les éléments, rédiger les textes et produire les dessins [41]. Il élargit l'exploration des solutions et accroît l'efficacité de représentation, mais la définition des problèmes, la fixation des objectifs, la configuration des règles et le jugement de valeur restent des responsabilités essentielles du planificateur.

4.5 Agent de décision d'action : arbitrages multi-objectifs et choix de plans

Cet agent traite les conflits entre sécurité écologique, efficacité du développement, équité spatiale, culture historique, services publics, résilience, sécurité et coût de mise en œuvre. Il organise les objectifs, normes, modèles d'évaluation, expériences expertes et retours publics en fondements de jugement explicables. Il soutient la comparaison des plans, l'identification des risques et le choix des actions, faisant passer la décision de l'optimum technique unique à un arbitrage global orienté vers la valeur publique, où le calcul machine reste subordonné à la rationalité de planification et à la responsabilité de gouvernance.

4.6 Agent de coordination organisationnelle : coordination de la gouvernance multi-acteurs

Cet agent traite les tâches transversales : renouvellement urbain, amélioration des transports, restauration écologique, relèvement des services publics, ajustement des espaces industriels et coopération régionale. Il organise de manière structurée les objectifs, tâches spatiales, instruments politiques et acteurs de mise en œuvre. Il soutient la décomposition des objectifs, l'articulation des responsabilités, le suivi des progrès et les alertes de retour, afin de clarifier les relations d'action collaborative entre services, niveaux, régions et acteurs sociaux.

4.7 Agent de réponse d'urgence : réponse spatiale aux risques exceptionnels

Cet agent s'adresse aux phénomènes météorologiques extrêmes, inondations, événements de santé publique, défaillances d'infrastructure et grands incidents de sécurité publique, en soutenant identification des risques, mobilisation des ressources et réponse rapide [42]. Il relie prévention, intervention et retour d'expérience, et réinjecte dans la planification territoriale, la planification détaillée et la construction d'infrastructures les faiblesses révélées par les événements exceptionnels : fragilité des infrastructures, insuffisance d'espace public, mauvaise organisation des passages ou faible résilience communautaire.

4.8 Agent d'itération des connaissances : mise à jour continue de l'expérience

Cet agent traite les cas de planification, avis d'examen, effets de mise en œuvre, retours du public, corrections d'experts et révisions de règles. Il accumule des ressources de connaissance réutilisables. Il transforme expériences, écarts et leçons des processus de planification en bases d'actualisation des connaissances, d'optimisation des règles et de correction des modèles, permettant à l'agent de développer des capacités de réapprentissage, de recalibrage et d'évolution dynamique dans la pratique continue.

4.9 Mécanisme de fonctionnement coordonné

Les huit agents spécialisés forment ensemble la structure collective de l'agent de planification. La perception spatio-temporelle fournit la base de l'état urbain ; la cognition des régularités explique les mécanismes spatiaux ; la simulation organise les scénarios futurs ; l'élaboration produit les plans spatiaux et résultats réglementaires ; la décision soutient les arbitrages multi-objectifs ; la coordination garantit l'action multi-acteurs ; la réponse d'urgence traite les risques exceptionnels ; l'itération des connaissances accumule les retours et actualise les règles.

Leur collaboration repose sur la relation continue « état - régularité - scénario - plan - décision - coordination - réponse - itération » : l'état urbain est perçu en continu, les régularités spatiales sont identifiées et expliquées, les futurs sont organisés et comparés, les plans sont générés et exprimés, les choix d'action sont évalués, les tâches multi-acteurs sont coordonnées, les risques reçoivent une réponse rapide, et les retours d'exécution comme l'expérience pratique sont sédimentés. L'agent de planification évolue ainsi d'un outil auxiliaire greffé aux procédures existantes vers un mécanisme organisationnel intelligent soutenant l'ensemble de la planification.

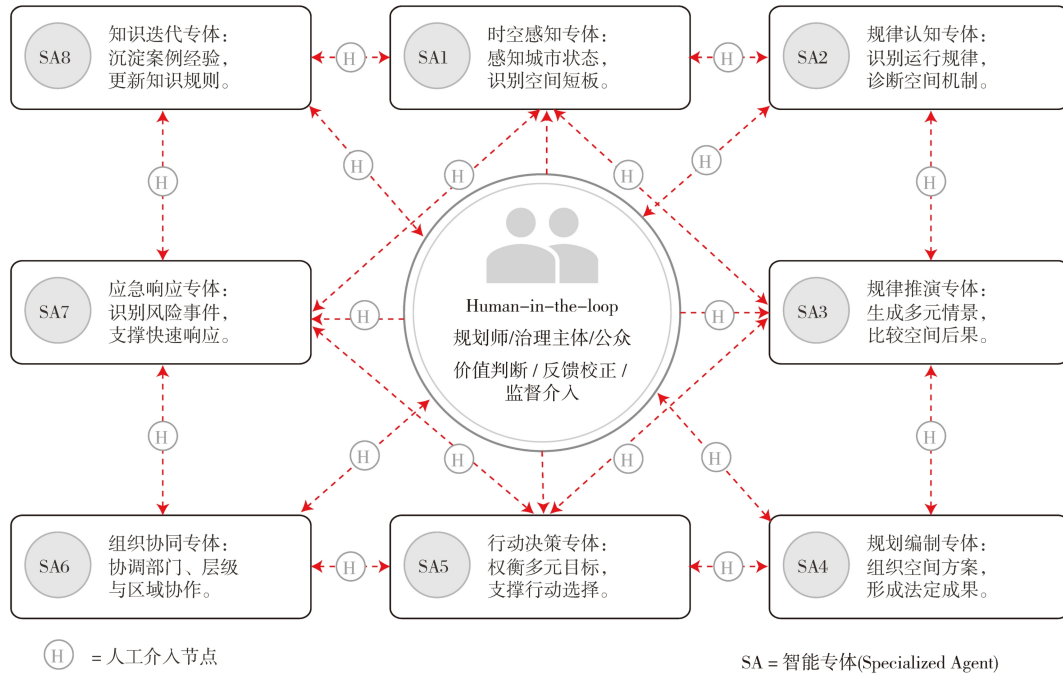


Figure 3. Cadre de rationalité écologique des relations entre huit agents spécialisés de planification urbaine.

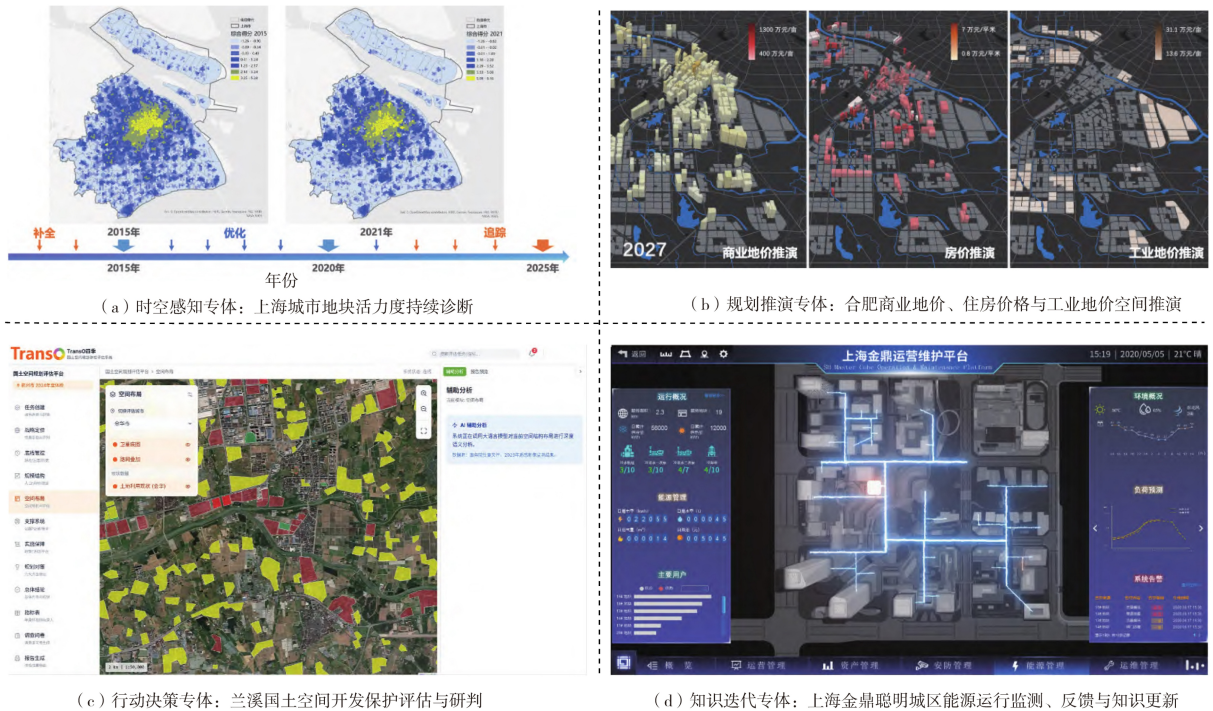


Figure 4. Applications de certains agents spécialisés : (a) agent de perception spatio-temporelle, diagnostic continu de la vitalité des parcelles à Shanghai ; (b) agent de simulation, simulation spatiale des prix du foncier commercial, du logement et du foncier industriel à Hefei ; (c) agent de décision d'action, évaluation du développement et de la protection de l'espace territorial à Lanxi ; (d) agent

d'itération des connaissances, suivi énergétique, retours et actualisation des connaissances dans le quartier intelligent de Shanghai Jinding.

5 Conclusion : l'agent de planification dans le contexte chinois, fondements institutionnels et soutien cognitif

5.1 Soutien cognitif en Chine : un système de cinq bases

Le fonctionnement de l'agent dépend d'une base de connaissances stable, systématique et actualisable. La planification urbaine chinoise dispose de données, de règles institutionnelles et d'expériences abondantes, mais ces ressources ont longtemps été dispersées entre services, plateformes, documents de planification et processus de projet [43]. Pour former des jugements professionnels, l'agent doit organiser ces ressources dispersées en un système de connaissances doté de signification planificatrice. Autour des principales tâches de la pratique chinoise, ce soutien cognitif peut être résumé en cinq bases : ressources naturelles, construction urbaine, conditions socio-économiques, normes et règlements, cas de planification. L'enjeu n'est pas l'accumulation documentaire, mais l'organisation des connaissances : c'est en organisant données, règles, modèles, cas et retours en un système mobilisable, explicable et actualisable que l'agent peut former une capacité de jugement réellement professionnelle.

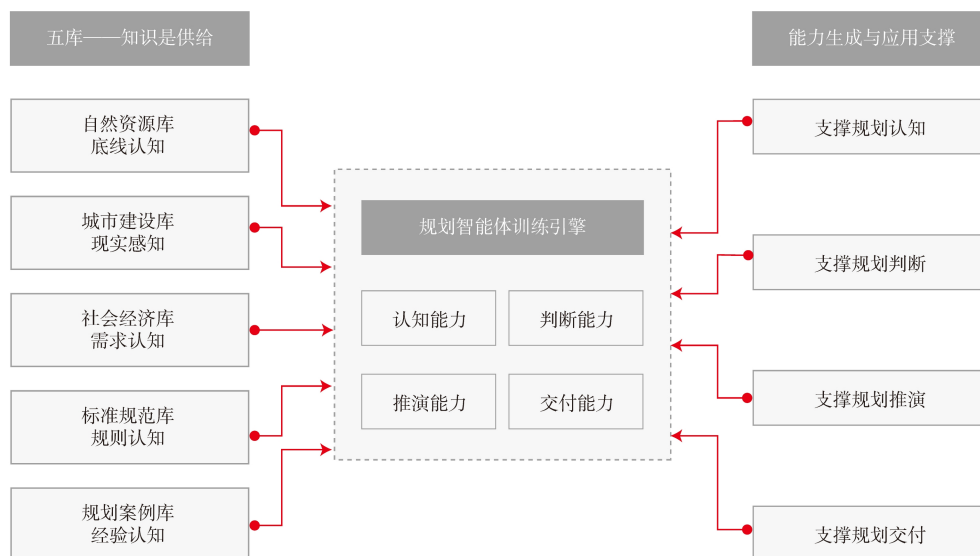


Figure 5. Système de cinq bases de données soutenant l'agent de planification urbaine.

5.2 Faire progresser la méthode de planification à l'ère intelligente

La proposition de l'agent de planification marque une nouvelle étape dans les relations entre planification urbaine et intelligence artificielle. Pour la discipline, elle pose les questions centrales de l'ère intelligente : comment connaître la ville de façon continue ; comment juger les problèmes avec précision ; comment simuler les plans rationnellement ; comment transmettre les règles de manière stable ; comment intégrer la valeur dans les processus intelligents ; comment faire revenir la mise en œuvre dans le système de planification. Ces questions dépassent l'application technique ordinaire et visent le renouvellement théorique de la discipline. La planification ne doit pas considérer l'IA comme un outil externe ni s'en tenir au transfert technologique ; elle doit construire une théorie de la planification intelligente ancrée dans sa propre position disciplinaire, intégrant systèmes urbains complexes,

ingénierie des connaissances de planification, décision collaborative homme-agent, contraintes de valeur publique et mécanismes de gouvernance spatiale dans un cadre unifié.

Pour la profession, l'agent de planification modifiera la structure des compétences. Les capacités centrales du planificateur porteront davantage sur la définition des problèmes, la fixation des objectifs, le jugement de valeur, l'organisation des règles, l'interprétation des scénarios, la gouvernance collaborative et la responsabilité. L'agent peut élargir le champ perceptif, la capacité de simulation, de comparaison et de rétroaction, mais l'orientation de la planification, la valeur publique et la responsabilité finale doivent rester assumées par la communauté professionnelle et les institutions de gouvernance publique. Plus la planification entre dans l'ère intelligente, plus elle doit renforcer sa rationalité professionnelle et préserver les lignes de fond de l'intérêt public, de l'équité spatiale, de la sécurité écologique, de la continuité culturelle et de la responsabilité à long terme. Le développement de l'agent ne doit pas affaiblir le jugement humain, mais accroître la capacité des planificateurs à traiter les problèmes urbains complexes [44].

La clé de la construction de l'agent consiste à transformer les données, règles, cas, expériences et jugements de valeur accumulés par la profession en systèmes de connaissances organisables, explicables, examinables et actualisables. Sans connaissance de planification, l'agent reste un outil intelligent général ; sans contrainte de valeur publique, il risque de privilégier l'efficacité et l'optimum local ; sans retour de mise en œuvre, il peut difficilement servir la gouvernance urbaine. À l'avenir, l'agent doit s'appuyer sur les cinq bases - ressources naturelles, construction urbaine, conditions socio-économiques, normes et règlements, cas de planification -, accumuler continuellement connaissances, méthodes et expériences, et former un système de capacités professionnelles soutenant l'élaboration, l'examen, la mise en œuvre, l'évaluation et la gouvernance collaborative. Il pourra ainsi apporter la sagesse et l'expérience chinoises au développement mondial de la discipline et de la pratique de la planification urbaine à l'ère intelligente.

Références

- [1] GALLOTTI R, SACCO P, DE DOMENICO M. Systèmes urbains complexes : défis et solutions intégrées pour la durabilité et la résilience des villes[J]. Complexity, 2021(1): 1782354.
- [2] Zhou Changlin, Bai Yu, Xie Shumu. Performance spatiale urbaine orientée vers le développement de haute qualité : paradoxe multi-objectifs et modèle d'évaluation[J]. Urban Planning Forum, 2022(4): 58-63.
- [3] Yang Xuanmei. Résilience territoriale et spatiale : cadre conceptuel et voies de mise en œuvre[J]. Urban Planning Forum, 2021(3): 112-118.
- [4] Wu Zhiqiang, Liu Xiaochang, Zhao Gang, et al. Remplacer l'expansion simple par l'orientation vers les bénéfices spatiaux : indicateurs clés d'évaluation de la gouvernance urbaine[J]. Urban Planning Forum, 2021(5): 15-22.
- [5] ZHOU X, LIN Y, MONSTADT J, et al. Examiner les processus et résultats de la planification collaborative dans le renouvellement urbain : un tournant délibératif en Chine ?[J]. Urban Studies, 2024, 62(4): 682-699.
- [6] Cao Chunhua, Lu Tao, Li Peng, et al. Suivi, évaluation et alerte précoce dans la planification territoriale et spatiale : contenu, tâches et cadre technique[J]. Urban Planning Forum, 2022(6): 88-94.
- [7] Sun Shiwen. Recherche fondamentale sur le système de supervision de la mise en œuvre de la planification territoriale et spatiale[J]. Urban Planning Forum, 2024(2): 12-17.

- [8] PAN H, GEERTMAN S, DEAL B, et al. Soutien à la planification des villes intelligentes dans l'ère post-COVID[J]. Journal of Urban Technology, 2022, 29(2): 1-5.
- [9] Wu Zhiqiang, Gan Wei, Zang Wei, et al. Concept et développement du city information modeling (CIM)[J]. City Planning Review, 2021, 45(4): 106-113.
- [10] BATTY M. Les jumeaux numériques dans la planification urbaine[J]. Nature Computational Science, 2024, 4(3): 192-199.
- [11] RITTENBRUCH M, FOTH M, MITCHELL P, et al. Co-concevoir des systèmes d'aide à la planification en science urbaine : les questions auxquelles ils répondent et celles qu'ils soulèvent[J]. Journal of Urban Technology, 2021, 29(2): 7-32.
- [12] SON T H, WEEDON Z, YIGITCANLAR T, et al. Planification urbaine algorithmique pour un développement intelligent et durable : revue systématique de la littérature[J]. Sustainable Cities and Society, 2023, 94: 104562.
- [13] PENG Z R, LU K F, LIU Y, et al. La voie de l'IA en planification urbaine : du soutien à la planification à la fabrication de plans[J]. Journal of Planning Education and Research, 2023, 44(4): 2263-2279.
- [14] Wu Zhiqiang, Gan Wei, Liu Chaohui, et al. Ville IA : théorie et architecture du modèle[J]. Urban Planning Forum, 2022(5): 17-23.
- [15] Gan Wei, Wu Zhiqiang, Wang Yuankai, et al. Construction d'un modèle théorique pour le design urbain assisté par AIGC[J]. Urban Planning Forum, 2023(2): 12-18.
- [16] ZHENG H, YUAN P F. Méthode générative de design architectural et urbain par réseaux neuronaux artificiels[J]. Building and Environment, 2021, 205: 108242.
- [17] Wu Zhiqiang, Zhou Mimi, Liu Qi, et al. « Jumeau intergénérationnel » : cartographier les caractéristiques vitales de la ville[J]. Urban Planning Forum, 2024(1): 9-17.
- [18] Wu Zhiqiang, Gan Wei, Li Shuran, et al. « Cerveau collectif urbain » : modèle théorique et questions clés[J]. Urban Planning Forum, 2023(6): 20-26.
- [19] Wu Zhiqiang. Transformation des méthodes de pensée en planification urbaine[J]. Urban Planning Forum, 1986(5): 1-7.
- [20] Wu Zhiqiang. Comment traiter les informations souples : méthodes d'analyse multicritère dans la planification de l'usage du sol urbain[J]. Urban Planning Forum, 1985(3): 41-49.
- [21] Wu Zhiqiang. Recherche fondamentale sur le développement foncier urbain à Shanghai : distribution des volumes de développement, mesure de la valeur et mécanisme de développement[D]. Shanghai: Tongji University, 1984.
- [22] WU Z Q. Globalisierung der grossstadte um die jahrtausendwende: forschung[D]. Berlin: Technische Universität Berlin, 1994.
- [23] WU Z Q, PAN Y, YE Q, et al. Système d'évaluation du quotient d'intelligence urbaine (City IQ) : conception et évaluation[J]. Engineering, 2016, 2(2): 196-211.
- [24] WOOLDRIDGE M, JENNINGS N R. Agents intelligents : théorie et pratique[J]. The Knowledge Engineering Review, 1995, 10(2): 115-152.
- [25] PARK J S, O'BRIEN J, CAI C J, et al. Agents génératifs : simulacres interactifs du comportement humain[C]//Proceedings of the 36th Annual ACM Symposium on User Interface Software and Technology (UIST '23). San Francisco, CA, USA: Association for Computing Machinery, 2023: 1-22.

- [26] HONG S, ZHUGE M, CHEN J, et al. MetaGPT : métaprogrammation pour un cadre collaboratif multi-agents[C]//The Twelfth International Conference on Learning Representations (ICLR 2024). Vienna, Austria: OpenReview.net, 2024.
- [27] ZHENG Y, LIN Y, ZHAO L, et al. Planification spatiale des communautés urbaines par apprentissage profond par renforcement[J]. Nature Computational Science, 2023(9): 748-762.
- [28] HILLIER B, HANSON J. La logique sociale de l'espace[M]. Cambridge: Cambridge University Press, 1989.
- [29] BATTY M. Villes et complexité : comprendre les villes par automates cellulaires, modèles à agents et fractales[M]. Cambridge, MA: The MIT Press, 2007.
- [30] HEPPENSTALL A, MALLESON N, CROOKS A. « L'espace, frontière ultime » : quelle capacité des modèles à agents à simuler les individus et l'espace dans les villes ?[J]. Systems, 2016, 4(1): 9.
- [31] AXHAUSEN K W, HORNI A, NAGEL K, et al. La simulation de transport multi-agents MATSim[M]. London: Ubiquity Press, 2016.
- [32] BRUSE M, FLEER H. Simulation des interactions surface-plante-air dans les environnements urbains par un modèle numérique tridimensionnel[J]. Environmental Modelling & Software, 1998, 13(3-4): 373-384.
- [33] Tian Li, Xia Jing. Droits de développement foncier et planification territoriale et spatiale : logique de gouvernance, instruments politiques et applications pratiques[J]. Urban Planning Forum, 2021(6): 12-19.
- [34] HERZOG R H, GONCALVES J E, SLINGERLAND G, et al. Des villes pour les citoyens ! Sphères de valeur publique pour comprendre les conflits en planification urbaine[J]. Urban Studies, 2023, 61(7): 1327-1344.
- [35] YAP J R, ROMAN O, ADEY B T, et al. Tendances et opportunités de la planification adaptative de l'environnement bâti : revue de littérature[J]. City and Environment Interactions, 2025, 26: 100196.
- [36] SHEYDAYI A, DADASHPOOR H. L'intérêt public : écoles de pensée en planification[J]. Progress in Planning, 2022, 165: 100647.
- [37] NOARDO F, GULER D, FAUTH J, et al. Dévoiler les progrès réels du permis de construire numérique : prise de conscience par une revue critique de l'état de l'art[J]. Building and Environment, 2022, 213: 108854.
- [38] Bakowska-Waldmann E, Kaczmarek T. L'utilisation du PPGIS : vers une participation publique significative à la planification spatiale[J]. ISPRS International Journal of Geo-Information, 2021, 10(9): 581.
- [39] MARSHALL S, FARNDON D, HUDSON-SMITH A, et al. Participation au design et à la planification urbaine à l'ère numérique : leçons d'une plateforme expérimentale en ligne[J]. Smart Cities, 2024, 7(1): 615-632.
- [40] Wu Jiang, Wang Xin, Chen Ye, et al. Défis du bilan de santé urbain dans les mégapoles et pratique de Shanghai[J]. Urban Planning Forum, 2022(4): 28-34.
- [41] HONG Q, XIA J, LONG Y. Intelligence artificielle générative dans le design urbain : revue des applications récentes[J]. Landscape Architecture, 2026, 32(12): 24-34.
- [42] SAENZ DE TEJADA C, DAHER C, HIDALGO L, et al. Approches de planification, design et gestion urbains pour construire la résilience urbaine : revue rapide des preuves[J]. Cities & Health, 2024, 8(5): 932-955.

[43] Niu Xinyi, Lin Shijia, Sang Tian, et al. Technologie de planification numérique : données et connaissances[J]. Urban Planning Forum, 2024(2): 18-24.

[44] FU J, HAN H, SU X, et al. Vers une recherche urbaine collaborative homme-IA rendue possible par les grands modèles de langage pré-entraînés[J]. Urban Informatics, 2024, 3(1): 8.

Traduction assistée par IA