

Cartographie précise du nombre d'habitants urbains dans le contexte des technologies de jumeau numérique : Cadre technologique innovant et perspectives d'application en urbanisme

Wu Jiang, Zhang Yiping, Yuan Ye, Tang Ge, Duan Ruiyan, Xu Shiyan, Kong Ling

Résumé

Le jumeau numérique est la base de la planification intelligente de l'espace national. Contrairement aux jumeaux numériques dans les technologies de l'ingénierie, le jumeau numérique urbain, en raison des facteurs sociaux et démographiques complexes et dynamiques qu'il comporte, manque de précision dans la cartographie du nombre d'habitants. Cela rend difficile, avec les technologies de jumeau numérique actuelles, la fourniture d'informations précises sur la population pour soutenir les décisions de planification urbaine. Cet article présente un cadre technologique innovant pour la cartographie précise du nombre d'habitants urbains, en passant en revue l'état actuel du développement des jumeaux numériques urbains et les défis techniques, ainsi que les principales méthodes de cartographie de la population et leurs problèmes. En suivant la logique de "espace réel, population réelle, besoins réels", le cadre propose d'intégrer une vaste quantité de données principalement issues des administrations publiques pour construire une plateforme numérique du nombre d'habitants en fonction des besoins de services publics. Cette technologie aide à réaliser une analyse urbaine détaillée, un approvisionnement de biens publics communautaires affiné et une planification spatiale de haute qualité.

Mots-clés : Jumeau numérique urbain ; nombre d'habitants ; cartographie précise ; cadre technologique innovant ; perspectives d'application en urbanisme.

La urbanisation de notre pays entre dans une nouvelle phase de développement axée sur l'amélioration de la qualité, avec de nouvelles opportunités et défis pour le mode de développement urbain et la gouvernance. Un des grands enjeux de l'avenir réside dans la création d'une planification intelligente basée sur un écosystème numérique capable de percevoir, d'apprendre, de bien gouverner et de s'adapter [1-2]. Le jumeau numérique, qui mappe le monde réel dans le monde virtuel, est un moyen fondamental pour réaliser cette planification intelligente. En parallèle, le rapport du 20e Congrès du Parti met en avant l'idée de la "ville du peuple", avec la devise "Les villes sont construites par le peuple, pour le peuple". Grâce aux technologies du jumeau numérique, il devient possible de créer des plateformes de gouvernance urbaine diversifiées, permettant d'intégrer les réflexions utiles des citoyens sur le développement urbain, et de réaliser véritablement "les villes construites par le peuple". D'autre part, les cartes numériques peuvent définir précisément les besoins en affaires publiques des différents groupes de résidents, fournissant ainsi une base objective pour l'approvisionnement en biens publics spatiaux, et assurant réellement que "les villes sont pour le peuple". Cependant, influencées par les jumeaux numériques traditionnels utilisés dans les technologies d'ingénierie, les villes numériques actuelles souffrent d'un "déséquilibre entre les objets et les populations", notamment par un manque de précision dans la cartographie des informations démographiques

ou une cartographie limitée à un type spécifique de population, ce qui crée un écart significatif entre la “couche de population” du jumeau numérique et la réalité. Si le jumeau numérique d’une ville ne peut pas représenter précisément ses informations démographiques, il devient difficile d’identifier et d’évaluer correctement les questions publiques pendant le processus de planification, de construction et de gouvernance de la ville, ce qui pourrait entraîner des erreurs d’appréciation et de décision, affectant ainsi l’équité sociale et le bien-être des habitants. Par conséquent, il est crucial de savoir comment cartographier avec précision la “couche de population” dans un jumeau numérique urbain. Sur cette base, cet article propose d’abord une vue d’ensemble du développement des jumeaux numériques urbains à l’échelle nationale et internationale, puis présente un cadre technologique innovant pour la cartographie précise des informations réelles sur la population urbaine, et enfin, discute de la manière dont cette technologie peut être appliquée dans la pratique de la planification urbaine.

1. Vue d’ensemble du développement et des difficultés des villes numériques

1.1 Jumeau numérique et ville numérique

Le jumeau numérique est un modèle virtuel dynamique en plusieurs dimensions, utilisant des données numériques pour représenter un objet physique, ses attributs, comportements et règles dans un environnement réel [3]. Le concept de jumeau numérique a été introduit pour la première fois par le professeur Michael Grieves en 2003 lors de son cours de gestion du cycle de vie des produits à l’Université du Michigan, et il a été défini comme un miroir numérique d’un artefact ou d’un processus physique [4]. En 2012, la NASA a proposé l’une des définitions les plus marquantes du jumeau numérique dans son rapport “Digital Twin Paradigm for Future Aerospace and Military Aircraft” [5]. Après plus d’une décennie de recherche, la théorie des jumeaux numériques a vu une prolifération de travaux académiques à travers le monde [6]. Récemment, la Chine a accéléré la transformation numérique, avec de nombreuses disciplines et secteurs explorant les applications du jumeau numérique dans des domaines tels que les réseaux de communication par satellite, les cycles de vie des navires, la gestion intelligente des centrales électriques, et les villes numériques [3].

Le concept de jumeau numérique est entré dans le domaine urbain à la fin des années 2010 [7]. Il s’agit d’une technologie d’interaction virtuelle et réelle, dont l’objectif est de partager l’information sur l’ensemble du cycle de vie de la planification, de la construction et de la gouvernance d’une ville, et d’aider à des décisions de gouvernance détaillées en optimisant les ressources numériques [8]. Ces dernières années, plusieurs pays développés ont fait d’importantes avancées dans les villes numériques [9], comme le programme “Smart Singapore” (2015), le projet “Destination Earth” de l’UE (2021), le SmartWorldPro du Nouveau-Mexique (2019), le projet PLATEAU du ministère japonais des Transports (2021), et le projet Unity en France pour la gestion de la construction urbaine (2021). Ces projets émergents de jumeau numérique se concentrent tous sur des enjeux publics précis.

1.2 Les défis des villes jumeaux numériques : Complexité urbaine et cartographie précise de la population

Les caractéristiques de la complexité urbaine sont le plus grand défi pour l'application des jumeaux numériques dans le domaine urbain. Les jumeaux numériques ont été initialement développés dans le domaine de la fabrication aérospatiale, avec des applications classiques telles que la surveillance en temps réel des états de fonctionnement des avions, basée sur des capteurs et des simulations informatiques [19]. Cependant, comme l'a dit Peter Hall, les programmes aérospatiaux ont des objectifs clairs et peuvent être comparés à des cibles fixes, ce qui permet de prédire leurs trajectoires [8]; tandis que la planification urbaine fait face à l'incertitude dynamique des éléments sociaux, un peu comme tirer sur une cible mobile, ce qui rend sa mise en œuvre plus difficile que celle des programmes aérospatiaux. Batty et al. [4] soulignent également que le concept principal des jumeaux numériques est une abstraction de certains systèmes physiques, considérés comme « durs », et qu'il serait beaucoup plus difficile de les appliquer à des « systèmes mous » centrés sur le comportement humain. Par conséquent, l'application de la technologie des jumeaux numériques dans la planification urbaine diffère fondamentalement de son application dans le domaine de l'ingénierie, car elle nécessite non seulement de cartographier l'espace physique, mais aussi de prêter une attention particulière aux décideurs et aux parties prenantes affectées par les changements dans l'espace physique, tout en répondant de manière critique aux éléments institutionnels de la ville [7]. Ce processus est en soi marqué par une complexité dynamique.

Les caractéristiques multiples et variées de la population (multiples acteurs, objectifs, comportements et organisations) apportent une complexité supplémentaire aux villes, influençant la prise de décision en matière de développement urbain, les interactions comportementales et la construction institutionnelle, ce qui constitue la « logique de base » de ces phénomènes. Certains chercheurs comparent les jumeaux numériques urbains à un modèle empilé complexe (modèle en pile), construit à travers des couches opérationnelles verticales de types multiples, d'échelles variées, d'attributs divers et de modules intégrables, avec des interfaces internes et des protocoles permettant une intégration autoritaire et une itération continue de ces couches opérationnelles [20]. Cependant, cela ne signifie pas que la quantité de données d'une ville jumeau numérique devrait être aussi élevée que possible ; il faut partir des besoins réels et cartographier la « totalité nécessaire » [8]. Parmi les nombreuses données urbaines, la population est un élément clé pour identifier les problèmes publics, analyser les relations d'offre et de demande, évaluer l'équité urbaine, et elle nécessite une cartographie complète des données de base. Par conséquent, le jumeau numérique urbain devrait d'abord résoudre la question de l'authenticité et de la précision de la cartographie des données démographiques, afin de créer des conditions préalables pour promouvoir une gouvernance publique urbaine efficace et active. Actuellement, diverses méthodes de cartographie de la population urbaine ont émergé dans les explorations des sciences des données, de la géoscience, de la vision par ordinateur et d'autres domaines interdisciplinaires, offrant une base pour explorer les voies de construction du recensement de la population urbaine.

2. Méthodes actuelles de cartographie des données de la population et leurs problèmes

2.1 Rasterisation des données démographiques

La rasterisation des données démographiques en cellules de grille est une méthode courante qui permet de représenter la répartition de la population à l'aide d'unités homogènes. Les recherches actuelles adoptent principalement deux approches de rasterisation : la première consiste à subdiviser les données de recensement en utilisant des informations géospatiales, des données socio-économiques et autres informations auxiliaires pour affiner la cartographie [21-22], en utilisant des méthodes telles que l'interpolation spatiale, la régression statistique, l'apprentissage machine, l'empilement intégré, etc. Cette approche est relativement mature et plusieurs institutions, tant nationales qu'internationales, ont développé des produits de données permettant la conversion des données de recensement en haute résolution [23] (Tableau 1). La deuxième méthode est la synthèse statistique. Avec la prolifération des téléphones mobiles et d'autres appareils mobiles, les données de signalisation mobile générées ont également été largement utilisées pour l'étude de la répartition de la population [24]. Cette méthode repose sur les données laissées par les appareils de communication mobile, incluant des informations temporelles et géographiques, pour estimer la population dans chaque grille en fonction de comportements réguliers, reflétant des activités telles que l'emploi, le logement et les loisirs [25-26].

2.2 Spatialisation des données démographiques basée sur des unités géographiques spécifiques

Les principes et méthodes de l'espace des données démographiques basées sur des unités géographiques spécifiques sont similaires à ceux de la rasterisation des données démographiques, mais elles consistent généralement à cartographier les données démographiques sur des unités administratives (comme les communautés), des zones de transport, des zones de services de santé, des districts scolaires, des résidences, etc. Cette méthode aide à explorer la répartition de la population et l'efficacité des services publics. Par exemple, les études sur la répartition spatio-temporelle de la population en ville utilisent généralement des divisions administratives comme unités de cartographie [27-28]; les études sur les services de transport utilisent des zones de transport définies par les axes principaux de la ville pour explorer des problématiques comme les déplacements domicile-travail [29] ou les services de transport en commun [30]; les études sur la répartition des équipements de santé utilisent des zones de service des hôpitaux pour évaluer les différences d'accessibilité aux soins de santé dans différentes régions [31-32]; les études sur les équipements éducatifs utilisent les districts scolaires pour évaluer si la structure de la population et les demandes d'admission dans les écoles correspondent à la capacité des infrastructures éducatives [33].

En plus de ces grandes unités spatiales, certaines études ont détaillé les données

démographiques à l'échelle des bâtiments. Par exemple, des chercheurs [34] ont utilisé des caractéristiques telles que la superficie des blocs résidentiels, la proportion de la surface construite, le nombre d'étages des bâtiments et le taux de surface commune pour décrire l'espace résidentiel, et ont établi un modèle de relation entre la population résidente et les caractéristiques de l'espace résidentiel. Cela permet de prédire la population résidente en fonction des caractéristiques du bloc résidentiel; d'autres études ont établi un modèle de relation entre le volume des bâtiments et la distribution statique de la population [35], combinant plusieurs données géospatiales pour estimer les données démographiques [36-40]. Ces études affinent l'échelle de la cartographie à l'échelle des bâtiments et utilisent des indicateurs liés aux bâtiments pour estimer la population, mais les conclusions concernent la « population du modèle », et non la population réelle.

2.3 Cartographie des données démographiques à l'aide de capteurs urbains

Avec le développement des technologies de l'Internet des objets (IoT), l'infrastructure des capteurs urbains a continué de se perfectionner, offrant de nouvelles sources de données pour la cartographie des informations démographiques. L'architecture de l'IoT se divise en trois couches : la couche de perception, la couche Internet et la couche d'application. Les capteurs de la couche de perception sont responsables de l'identification des objets et de la collecte de données en temps réel, jouant un rôle important dans la collecte des données démographiques (Tableau 2). Ces données peuvent être classées en deux catégories : la première comprend des images et des vidéos collectées par des dispositifs de surveillance par caméra, qui peuvent être analysées par vision par ordinateur pour estimer la taille de la population (Tableau 3). Dans les domaines de la planification urbaine et des services publics, les chercheurs utilisent les données géographiques des images pour effectuer une cartographie spatiale et les stocker sous forme de données GIS, puis estimer la population dans les unités spatiales définies [41]. La deuxième catégorie comprend des données collectées par des capteurs non visuels, comme les signaux Wi-Fi, les signaux radiofréquences et les informations environnementales, qui sont riches en types et de précision élevée, et peuvent également être utilisées pour cartographier les données démographiques. Par exemple, les sondes Wi-Fi peuvent estimer le nombre de personnes en enregistrant les signaux Wi-Fi des appareils mobiles ; les dispositifs de radiofréquence aux entrées peuvent estimer le trafic piétonnier en comptant les interruptions de signaux radiofréquences ; les dispositifs interactifs environnementaux peuvent estimer le trafic piétonnier en collectant des données sur les interactions entre les foules et l'environnement bâti [42].

2.4 Résumé des problèmes existants : Précision, véracité et couverture insuffisantes du mappage de la population de base

Les trois méthodes mentionnées de mappage des données de population ont été largement utilisées dans la recherche et la pratique. Cependant, du point de vue de la construction de la «

population de base » nécessaire à la gestion opérationnelle des villes, les méthodes actuelles présentent des insuffisances en termes de précision, de véracité et de couverture.

D'une part, la méthode de rasterisation abstrait les données de la population sous forme de cellules raster, ce qui présente une valeur à l'échelle macroscopique, mais entraîne une distorsion à l'échelle meso et microscopique, car elle néglige l'impact spécifique de l'environnement construit complexe sur les variations de la distribution de la population.

D'autre part, la méthode basée sur des unités spécifiques, tout en prenant en compte la complexité de l'environnement construit et ses caractéristiques morphologiques, et en améliorant de plus en plus la précision des calculs, utilise souvent des modèles statistiques pour estimer la population, ignorant l'identité locale de la population, ce qui empêche une évaluation précise des besoins en services publics des résidents.

Enfin, les méthodes utilisant des capteurs pour identifier les flux de population sont souvent appliquées dans des zones clés de la ville, offrant des avantages en matière de gestion du design urbain et de surveillance de la sécurité publique. Cependant, étant donné que leur portée de détection se concentre sur des zones locales, elles ne peuvent pas répondre aux exigences de données complètes pour la planification, la construction et la gouvernance urbaines.

Il est donc urgent de développer une méthode de mappage de la population de base qui combine précision, véracité et couverture totale, afin de répondre aux besoins de gestion du cycle de vie complet des villes à l'ère des jumeaux numériques.

3. Cadre technique innovant pour le mappage précis de la population de base urbaine

Avec la transformation numérique des gouvernements urbains ces dernières années, les plateformes numériques des différents départements gouvernementaux ont accumulé une grande quantité d'informations sur les services des citoyens, donnant ainsi naissance à une nouvelle source de données appelée « données gouvernementales ». Ces données fournissent une base pour réaliser un mappage précis, détaillé et complet de la population. Ces dernières années, mon équipe a mené des pratiques liées aux jumeaux numériques urbains dans plusieurs quartiers de Pudong, Huangpu et Jing'an. Après des validations, des ajustements et des optimisations continues, nous avons développé un cadre technique innovant et opérationnel pour aborder le problème de la construction de la population de base urbaine. Dans le processus de création de ce cadre, nous avons établi le principe de la « véracité » comme base, et à travers la logique « espace—population—besoins », nous avons étendu trois parties : « mappage de l'espace réel », « caractérisation de la population réelle » et « réponse aux besoins réels » (voir Figure 1).

(1) Mappage de l'espace réel : Créer une carte spatiale « détaillée » représentant l'environnement physique de la ville, comprenant principalement deux parties : (1) les données géographiques des frontières administratives à différents niveaux, ainsi que les éléments de l'environnement construit tels que les quartiers, les parcelles et les bâtiments ; (2) les données d'adresse de chaque unité résidentielle, basées sur les bâtiments « unités et chambres », obtenues à partir de multiples sources de données gouvernementales. En agrégeant les données des frontières administratives, de l'environnement construit et des adresses résidentielles, il est possible de créer une carte spatiale détaillée « précise jusqu'à l'unité résidentielle ». Cette méthode évite non seulement les distorsions des données rasterisées, mais améliore également la granularité et la véracité des données.

(2) Caractérisation de la population réelle : Obtenir des informations réelles sur la population à partir des données gouvernementales de plusieurs secteurs, et les lier à la carte spatiale pour obtenir des données de population « précises jusqu'à l'unité résidentielle ». Ensuite, en intégrant des mégadonnées sur la population en plusieurs sources, ces informations sont superposées et complétées sur la base des données de population gouvernementales, puis un profil de cycle de vie de la population est créé pour décrire précisément la population, tout en respectant la confidentialité légale et en caractérisant modérément l'identité réelle de la population.

(3) Réponse aux besoins réels : Utiliser une base de données graphique comme solution technique pour la base « espace—population », créant ainsi un produit de plateforme de données, et l'accompagnant de technologies et de mécanismes de maintenance, de surveillance et de mise à jour des données. Sur cette base, en fonction des différents scénarios de services et des besoins en données dans le travail gouvernemental, tels que les services sociaux, l'éducation, la santé et la gestion communautaire, des ensembles de données spécifiques sont extraits de la base de données graphique pour soutenir les applications des services publics gouvernementaux.

3.1 Mappage de l'espace réel : Créer une carte spatiale « précise jusqu'à l'unité résidentielle »

3.1.1 Création d'une carte spatiale basée sur l'environnement construit et les frontières administratives

La population urbaine, lorsqu'elle pratique toute activité en dehors de la maison, dépend de l'environnement construit, comme les résidences, les bureaux et les commerces, comme support pour ces activités. Parallèlement, du point de vue de la gouvernance, il existe un système « urbain » composé des frontières administratives, qui délimitent les pouvoirs des différentes autorités gouvernementales.

Ainsi, lors de la création de la carte spatiale, ces deux systèmes doivent être mappés : d'une part, pour l'environnement construit, cela inclut les modèles spatiaux des bâtiments individuels, des parcelles, des quartiers, des zones fonctionnelles, des secteurs urbains et de la ville dans son ensemble ; d'autre part, les frontières administratives incluent les niveaux des bâtiments, les « microgrilles » de gestion communautaire, les quartiers, les districts, les limites de la ville et de la province, qui sont ajustées dynamiquement en fonction des changements dans les unités administratives.

La méthode technique pour mappage de cette carte spatiale est la suivante :

1. Collecter et organiser les données pertinentes issues de différentes ressources cartographiques. Les données des frontières administratives proviennent principalement des informations publiques gouvernementales ; les données sur l'environnement physique proviennent des données géographiques des unités de topographie, des registres physiques du gouvernement, des cartes internet, etc.
2. Standardiser et traiter ces données dans différents formats en unifiant le format des données. Si des données de frontières administratives sont manquantes, elles peuvent être complétées par des dessins manuels et des corrections ; pour les données provenant d'internet, diversifiées en formats, des technologies d'intelligence artificielle, de reconnaissance d'images et d'extraction d'informations peuvent être appliquées.
3. Lier spatialement les données géographiques standardisées selon les besoins, en garantissant l'exactitude des relations hiérarchiques : d'une part, chaque niveau administratif doit recouvrir sans faille toutes les unités inférieures ; d'autre part, le modèle de bâtiment doit couvrir toutes les informations des étages et des appartements. Voir Figure

3.1.2 Raffinement des informations de “ménages” sur la carte de base spatiale

Une carte de base spatiale précise et authentique doit être soutenue par des informations d'adresses réelles, généralement représentées par les “ménages” dans les bâtiments. Bien que les “ménages” soient les supports spatiaux de la population résidente, ces données n'apparaissent généralement pas dans les données topographiques ou cartographiques et ne peuvent être obtenues que par d'autres moyens. Selon l'expérience pratique actuelle, l'obtention des données de “ménages” dans la carte de base spatiale se divise généralement en deux situations : la première est que certains systèmes gouvernementaux des grandes villes ont déjà établi des données de base sur les bâtiments et les logements, telles que les bases de données spécialisées sur les bâtiments conservées par les départements de gestion des logements, les bases de données des logements créées par les rues ou les comités de quartier (sous forme de bases de données ou de cartes d'état des logements en papier), ainsi que les bases de données des adresses des logements dans des systèmes comme la “Nube Communautaire” (Shanghai) ou la “Plateforme de Gouvernance Locale Quatre” (Hangzhou) au niveau de la ville. Ces données contiennent des informations géographiques et d'adresses “précises au ménage”, et sont mises à jour en temps réel via des visites de terrain. Dans ce cas, les données peuvent être obtenues

directement et intégrées à la carte de base spatiale. La deuxième situation est que certains endroits n'ont pas encore perfectionné leurs bases de données de bâtiments et de logements, il est donc nécessaire d'utiliser la "technologie des adresses des ménages" pour obtenir des données sur les ménages, qui consiste à obtenir des informations d'adresse des résidents dans les données gouvernementales pour reconstruire "des informations précises au ménage". Concrètement, on obtient d'abord les informations d'adresse des résidents, puis on applique une méthode de segmentation de mots basée sur un dictionnaire dans le traitement du langage naturel pour identifier les données d'adresse selon la structure "province–ville–district–rue–allée–numéro–chambre", puis on extrait les données exactes des "ménages", qui sont finalement reliées au modèle de division des bâtiments et intégrées à la carte de base spatiale.

3.2 Décrire la population réelle : lier la population à l'espace, établir un système de portrait

Des informations précises sur la population sont essentielles pour analyser les problèmes de services publics, et comprennent principalement deux aspects : d'une part, les informations "locales" de la population, obtenues par la liaison avec la carte de base spatiale ; et d'autre part, la représentation des caractéristiques de la population, ce qui implique comment créer des portraits de la population. Cet article propose l'idée du "portrait de population tout au long du cycle de vie" et intègre des données non gouvernementales provenant de multiples sources pour compléter davantage les "portraits thématiques". Ces étapes forment ensemble le cadre de la cartographie d'une base de population détaillée. Voir la Figure 3.

3.2.1 Lier les données de population à la carte de base spatiale

Les données de population proviennent principalement des données gouvernementales de divers secteurs, tels que les données d'enregistrement des ménages conservées par les départements de police, les archives de naissance et de santé conservées par le comité de santé, les données de mariage et de retraite conservées par le département des affaires civiles, et les données de travail et de cotisation à la sécurité sociale conservées par le département des ressources humaines. De plus, les entreprises, en tant qu'acteurs sociaux, laissent également des données correspondantes dans les bases de données juridiques, comme celles liées à l'enregistrement des entreprises, aux demandes de brevets, aux investissements et financements. De plus, les départements de données locaux ou les départements de gestion urbaine ont également créé divers scénarios d'application numériques et accumulé des données d'activités spécifiques de la population, telles que les lignes d'assistance pour les tickets de travail ou les consultations. La construction d'une base de population détaillée nécessite l'intégration de ces différentes données de population des départements gouvernementaux. Lors de l'intégration, différentes priorités d'acceptation sont attribuées aux sources de données pour éviter la collecte répétée des mêmes données. Une fois l'intégration des données gouvernementales terminée, les données de population sont liées à la carte de base spatiale via leur champ d'informations d'adresse, par exemple : lier les informations sur le ménage dans l'adresse de résidence de la population avec les données spatiales du bâtiment correspondant ; ou lier le code de crédit de l'entreprise dans les données de sécurité sociale de la population avec les données spatiales du bâtiment de

bureau correspondant.

3.2.2 Portrait de la population tout au long du cycle de vie

Les informations d'identité sont essentielles pour refléter l'"authenticité" des données de population. En outre, les informations d'identité nécessaires satisfont également les besoins d'une gestion gouvernementale efficace et de services publics précis. Cet article repose sur le concept de "gestion tout au long du cycle de vie" et établit un cadre complet pour le "portrait de la population", basé principalement sur trois aspects : d'abord, des recherches académiques sur le cycle de vie de la population, le cycle de vie familial et les portraits de population ; ensuite, les normes et standards actuels de codification et de classification de la population, y compris les normes nationales, les standards sectoriels et les normes locales des différentes provinces et villes ; enfin, l'état actuel de la classification des données dans les départements administratifs, ainsi que les scénarios d'application des données basés sur les besoins des départements. Cet article repose principalement sur les résultats des recherches de l'équipe concernant la construction de bases de données de population dans des villes comme Shanghai, Pékin et Hangzhou. Sur la base de ces recherches, un système de "portrait de la population 1+9+X" est proposé : "1" fait référence aux attributs de base de la population, tels que le sexe, la tranche d'âge, l'ethnie et le statut de domicile local, où "statut de domicile local" signifie déterminer si un résident "vit sur place" selon les registres communautaires ou s'il a "un domicile enregistré sur place" selon le registre de la police ; "9" fait référence à plusieurs dimensions d'informations sur la population étroitement liées aux scénarios de gouvernance dans la perspective de "gestion tout au long du cycle de vie", y compris l'éducation, l'emploi, le mariage et la procréation, la retraite, les activités sociales et l'identité sociale ; "X" fait référence à des attributs spécifiques ou spéciaux de la population, pouvant inclure des événements publics soudains, comme le statut de "test positif/négatif" d'une personne en cas de crise sanitaire publique, ou des attributs liés à des coutumes locales, comme une personne dans une zone ethnique ayant la caractéristique de "l'ancêtre important d'une tribu". Le "X" dans le système de portraits de population est ouvert et peut être ajusté de manière flexible en fonction des conditions réelles.

3.2.3 Fusion de données de multiples sources

Les données gouvernementales peuvent généralement décrire la population résidente permanente, la population active et d'autres informations, mais elles manquent de descriptions sur les populations participant à d'autres activités diverses dans la ville, comme le loisir, le tourisme, la consommation, etc. Pour décrire ces populations, il est nécessaire d'ajouter de grandes données commerciales non gouvernementales provenant d'autres plateformes. Par exemple, l'analyse des données de signaux mobiles par des modèles algorithmiques peut décrire la répartition de la population de loisirs dans la ville, exprimant des informations sur la résidence, la direction du mouvement et d'autres activités de population. De plus, en combinant les données des plateformes Internet liées à la consommation, les critiques, les médias sociaux et les publications vidéo, on peut décrire l'activité et les caractéristiques de distribution spatio-temporelle de la population consommante dans la ville. En comparant et en intégrant ces

grandes données provenant de multiples sources non gouvernementales avec les données de population gouvernementales, il est possible d'enrichir et d'améliorer les dimensions des données de population, et aussi de créer des portraits "thématiques" de la population.

Voici la traduction en français du texte que vous avez fourni :

3.1.2 Préciser les informations des « unités de logement » dans la carte de base spatiale

Une carte de base spatiale précise et exacte doit être soutenue par des informations d'adresse réelles, ces informations étant généralement organisées par « unité de logement » dans les bâtiments. Bien que les « unités de logement » soient les supports spatiaux de la population résidentielle, ces données ne figurent généralement pas dans les données de cartographie ou de géodésie et ne peuvent être obtenues que par d'autres canaux. Selon l'expérience pratique actuelle, l'obtention des données des « unités de logement » dans la carte de base spatiale se divise généralement en deux cas :

Le premier cas est celui des grandes villes où des systèmes de gestion municipale ont déjà établi des bases de données de bâtiments et de logements, incluant des données de bases de données spécialisées conservées par les bureaux de gestion des bâtiments, des bibliothèques de données de bâtiments créées par les quartiers ou les comités résidentiels (soit sous forme de bases de données, soit sous forme de cartes de bâtiments papier), ainsi que des systèmes comme le « Cloud communautaire » (Shanghai) ou la « Plateforme de gestion de la base » (Hangzhou). Ces données incluent des informations géographiques précises jusqu'à l'unité de logement et sont mises à jour en temps réel via des visites locales. Pour ce cas, les données peuvent être directement intégrées à la carte de base spatiale.

Le deuxième cas se présente lorsque certaines régions n'ont pas de bases de données de bâtiments bien développées, et qu'il est donc nécessaire d'utiliser la « technologie d'adressage des ménages » pour obtenir les données des unités de logement. Son principe repose sur l'obtention des informations d'adresse des résidents dans les données démographiques administratives pour reconstruire de manière inverse les informations des unités de logement « précises ». Concrètement, il faut d'abord obtenir les informations d'adresse des résidents, puis appliquer la méthode de segmentation des mots basée sur des dictionnaires dans le traitement du langage naturel pour identifier les données d'adresse selon la structure « province — ville — district — rue — voie — numéro — pièce », puis extraire les données « précises » des unités de logement, et enfin les associer au modèle de répartition des bâtiments pour les intégrer à la carte de base spatiale.

3.2 Décrire la population réelle : Relier les données démographiques à l'espace et établir un système de profils

Les informations démographiques précises sont essentielles pour l'analyse des problèmes de services publics, et comprennent principalement deux aspects : d'une part, l'information « locale » de la population, qui est réalisée par la connexion avec la carte de base spatiale ; d'autre part, la caractérisation des traits démographiques, qui implique comment dresser des profils. L'idée de

créer une « cartographie de profils démographiques tout au long du cycle de vie » est proposée, et en intégrant des données non administratives multiformes, les « profils thématiques » peuvent être complétés. Les étapes ci-dessus forment un cadre pour la cartographie de la population fine. Voir le graphique 3.

3.2.1 Connexion des données démographiques à la carte de base spatiale

Les données démographiques proviennent principalement des données administratives de plusieurs lignes de services gouvernementaux, comme les données d'enregistrement des résidents détenues par les départements de la sécurité publique, les données sur la procréation et la santé conservées par le comité de la santé, les données sur le mariage et la retraite stockées par le bureau des affaires civiles, les données de travail et de sécurité sociale gérées par les départements des ressources humaines, et ainsi de suite. En outre, les entreprises, en tant qu'acteurs sociaux, laissent également des données sur les entités juridiques lors de leurs activités telles que l'enregistrement des entreprises, les demandes de brevet et les investissements financiers. Par ailleurs, divers départements de données ou de gestion urbaine ont créé des scénarios numériques d'application, accumulant des données d'activité démographique spécifiques, comme des lignes d'assistance, des consultations, etc. La construction de la population fine nécessite l'intégration de ces différentes sources de données démographiques gouvernementales. Lors de l'intégration, des priorités d'acceptation des données doivent être définies pour éviter les doublons de collecte. Une fois l'intégration des données administratives réalisée, ces données démographiques sont associées à la carte de base spatiale via les champs d'adresse, comme les informations sur les unités de logement dans les adresses résidentielles, qui sont connectées aux données spatiales des bâtiments correspondants, ou encore les codes de crédit d'entreprise dans les données de sécurité sociale, qui sont liés aux données spatiales des bâtiments de bureaux.

3.2.2 Profil démographique tout au long du cycle de vie

Les informations d'identité sont essentielles pour refléter la « véracité » des données démographiques. Par ailleurs, les informations d'identité nécessaires peuvent répondre aux besoins de gestion administrative efficace et de services publics précis. Cet article propose de construire un cadre global de « profils démographiques tout au long du cycle de vie » basé sur le concept de « gestion du cycle de vie », en se référant principalement aux trois aspects suivants :

1. Les recherches académiques relatives au cycle de vie complet de la population, au cycle de vie complet des familles et aux profils démographiques.
2. Les normes de classification et de codification des populations, y compris les normes nationales, industrielles et locales.
3. L'état actuel de la classification des données administratives, ainsi que les scénarios d'application des données basés sur les besoins opérationnels des départements, principalement tirés des recherches menées par l'équipe dans des villes comme Shanghai, Pékin et Hangzhou concernant la construction de bases de données démographiques.

Sur la base de ces recherches, le système de profils démographiques « 1+9+X » est proposé :

4. « 1 » fait référence aux attributs de base de la population, y compris le sexe, la tranche d'âge, l'ethnie, l'occupation sur le territoire, etc. Parmi ceux-ci, « occupation sur le territoire » fait référence à l'identification par les registres communautaires si un résident « vit sur place » ou par l'enregistrement des résidents pour déterminer si la personne est « inscrite localement ».

5. « 9 » fait référence à diverses dimensions d'information démographique en lien avec les scénarios de gouvernance, sous l'angle de la gestion du cycle de vie, comprenant l'éducation, l'emploi, le mariage et la procréation, la retraite, les activités sociales et l'identité sociale.

6. « X » fait référence à des attributs spécifiques ou exceptionnels de la population, pouvant inclure des événements publics soudains, comme l'attribut « positif/négatif au test » lors d'une crise sanitaire publique, ou des coutumes traditionnelles spécifiques à certaines régions, comme une personne d'une minorité ethnique ayant un « titre de chef important » dans un clan. Le « X » dans le système de profils démographiques est flexible et peut être ajusté en fonction des situations réelles.

3.2.3 Fusion de données multi-sources

Les données administratives permettent généralement de caractériser les informations sur la population résidente en ville et les travailleurs, mais elles manquent de description pour les autres groupes de population engagés dans des activités diverses telles que les loisirs, le tourisme, la consommation, etc. La caractérisation de ces populations nécessite l'ajout d'autres données commerciales provenant de plateformes non administratives. Par exemple, l'analyse des données de signalisation des téléphones mobiles par des algorithmes permet de décrire la répartition des populations de loisirs en ville, en exprimant des informations sur les directions de flux et les résidents permanents ou temporaires. De plus, les données de consommation, de critiques, et de publications sur les plateformes Internet peuvent permettre de décrire l'activité et la distribution spatio-temporelle des populations consommatrices. En comparant et fusionnant ces données multi-sources non administratives avec les données démographiques des gouvernements, on peut compléter et améliorer les dimensions des données démographiques tout en créant des profils « thématiques » de certains groupes de population.

3.3 Répondre aux besoins réels : mise en œuvre des services administratifs multisituations à l'aide de méthodes d'ingénierie des données

Les différents départements des gouvernements municipaux et des institutions publiques, limités par leurs cadres spécifiques de service, expriment des besoins variés concernant les bases de données démographiques. Afin de répondre aux exigences des départements en matière de "multiplicité des utilisateurs, diversité des situations et variabilité élevée", une équipe de recherche a développé une méthode d'ingénierie permettant de transformer les bases de données démographiques en une plateforme numérique. Cette plateforme peut être utilisée quotidiennement par différents utilisateurs et réalise un cycle automatisé complet de "collecte, gouvernance, maintenance et mise à jour" des données. Cette méthode d'ingénierie repose sur

deux éléments principaux : un **“système d’architecture de base de données”** et un **“système d’exploitation et de maintenance des données”** (voir figure 4). Le premier soutient les réseaux relationnels et les processus de mappage des données démographiques ainsi que les demandes d’application générées par différents utilisateurs. Le second garantit l’exactitude, la véracité et la mise à jour des données grâce à un mécanisme technique dédié.

Le **“système d’architecture de base de données”** est une méthode d’ingénierie permettant de synchroniser les données démographiques avec les objets complexes des environnements urbains tout en offrant une extensibilité flexible. Par conséquent, cette architecture doit être hautement universelle, faiblement contraignante et extrêmement efficace en matière d’intégration. En raison des relations complexes et dynamiques entre l’“espace”, la “population” et les “besoins” contenues dans les bases de données démographiques, l’utilisation de bases de données relationnelles traditionnelles pourrait entraîner des lenteurs dans l’extraction des données, des performances opérationnelles faibles et une indisponibilité pour les utilisateurs pendant les modifications. Ainsi, la structure “entité-relation” des bases de données en graphe a été choisie comme fondation.

Dans les bases de données démographiques détaillées, des éléments tels que les bâtiments, les individus et les entreprises sont considérés comme des **“entités”**, tandis que leurs relations (par exemple, un citoyen “réside dans” un bâtiment, “travaille pour” une entreprise ou est “enregistré auprès de” une organisation) sont définies comme des **“relations”**. Lorsqu’un changement survient dans les données, il suffit de modifier les attributs des relations correspondantes. Cette structure simplifiée “entité-relation” des bases de données en graphe permet à la plateforme démographique de répondre à divers usages et à des demandes flexibles de la part des utilisateurs finaux.

Le **“système d’exploitation et de maintenance des données”** comprend trois volets : l’ingénierie de gouvernance des données, la surveillance de la qualité des données et le cycle fermé de maintenance des données. L’ingénierie de gouvernance est un “flux de production” visant à construire une carte de base des données. Ces données sont ensuite intégrées dans la base en graphe et passent par des étapes telles que l’importation initiale, le nettoyage et la correction, les calculs statistiques, le profilage démographique et la segmentation pour des applications spécifiques. La surveillance de la qualité, considérée comme un “flux de contrôle”, s’appuie sur des outils automatisés, des interventions humaines et des observations des utilisations afin d’assurer la cohérence, l’exactitude et la mise à jour des données.

Le cycle fermé de maintenance, ou “flux de mise à jour”, fonctionne dans deux directions :

- Le **cycle ascendant** garantit des mises à jour régulières et un retour d’information vers les sources de données supérieures (centres de données ou départements concernés).

- Le **cycle descendant** se concentre sur les ajustements, vérifications et corrections effectués par les utilisateurs finaux lors de leur utilisation sur le terrain.

4. Perspectives d'utilisation des bases de données démographiques détaillées

4.1 Nécessité d'application et garantie de la sécurité des données

Le processus de mappage des bases de données démographiques détaillées implique une quantité importante de données personnelles sensibles telles que l'âge, l'identité, l'adresse, l'état de santé ou les déplacements. Conformément au *Code civil*, les informations personnelles comme le nom, la date de naissance, l'adresse, le numéro de téléphone ou l'état de santé sont légalement protégées. Cela soulève deux questions :

1. Une telle utilisation massive de données sensibles est-elle vraiment nécessaire ?
2. Si oui, comment garantir la sécurité de ces données ?

Pour la première question, la législation chinoise encourage l'utilisation des données personnelles dans le cadre des services publics. Par exemple, le *Code civil* stipule que la collecte de données personnelles pour l'intérêt général ou pour protéger les droits légitimes des individus n'engage pas la responsabilité civile. La *Loi sur la sécurité des données* va plus loin en affirmant que "l'État soutient le développement et l'utilisation des ressources de données pour améliorer l'intelligence des services publics". Ainsi, du point de vue de l'amélioration des services publics et de la gouvernance urbaine, le mappage des bases de données complètes est justifié.

Pour la deuxième question, les expériences pratiques offrent des réponses. La construction des bases de données démographiques détaillées se déroule en deux phases :

- La phase de "**développement**" implique la consolidation des données dans un environnement réseau isolé, sans interaction directe avec les utilisateurs, garantissant ainsi la sécurité.
- La phase d'"**application**", plus ouverte, intègre des mécanismes stricts de contrôle d'accès, des normes de gestion et des politiques de responsabilité pour protéger les données.

4.2 Utilisation des bases de données démographiques dans l'analyse urbaine

Les bases de données détaillées proviennent de sources gouvernementales et non gouvernementales, avec des fréquences de mise à jour différentes :

1. Les données gouvernementales présentent une fréquence "incertaine", car elles dépendent d'événements spécifiques (par exemple, enregistrements résidentiels, admissions scolaires, etc.).

2. Les registres locaux varient selon la fréquence des visites des agents de terrain et la priorité accordée aux différents groupes.

3. Les données non gouvernementales, telles que les signaux mobiles ou les réseaux sociaux, sont enregistrées de manière continue et peuvent être agrégées selon des intervalles horaires, quotidiens, hebdomadaires ou mensuels.

L'intégration des données démographiques "multi-sources et multi-fréquences" dans une plateforme de base fine permet, d'une part, de les agréger en unités spatiales de différentes échelles pour analyser les différences de fréquence des données démographiques spécifiques à chaque unité spatiale, et d'autre part, d'analyser les caractéristiques spatio-temporelles multidimensionnelles de la population urbaine sous différents angles :

1. **Basé sur les données administratives** : Cela permet d'analyser les caractéristiques spatio-temporelles de l'établissement des résidents, les flux spatiaux des enfants vers les crèches et écoles, les différenciations spatio-temporelles entre résidents employés et au chômage, ainsi que les spectres spatio-temporels d'utilisation des infrastructures médicales. Ces analyses fournissent des bases pour l'élaboration de politiques publiques adaptées.

2. **Basé sur les registres communautaires** : Il est possible de réaliser des statistiques précises sur le lieu de résidence et le domicile des individus, en identifiant des catégories comme "présence au domicile et enregistrement", "présence au domicile sans enregistrement", ou "absence au domicile avec enregistrement".

- **"Présence et enregistrement au domicile"** : Cela concerne une partie de la population résidente permanente, considérée comme population sédentaire dans le recensement urbain.

- **"Présence au domicile sans enregistrement"** : Selon la durée de résidence (plus ou moins de six mois), elle peut être classée en population résidente ou mobile.

- **"Absence au domicile avec enregistrement"** : Désigne la population absente.

Ces données détaillées permettent d'affiner les analyses sur la population résidente permanente et effective d'une ville.

3. **Données non administratives** : Elles sont déjà largement utilisées dans des applications telles que l'analyse de la densité urbaine, l'évaluation de la vitalité ou l'identification des structures. Ces données non administratives sont intégrées comme complément dans le cadre de la base fine des données démographiques, élargissant ainsi les dimensions d'information pour le recensement de la population urbaine.

4.3 Application de la base fine des données démographiques à la planification de la gestion communautaire

La communauté est l'unité de base de la gouvernance spatiale, et la fourniture précise de services publics est une des principales tâches de la gestion communautaire. Dans un contexte de complexité et de changement du système "espace-population", une offre ciblée de biens publics

est essentielle pour améliorer la qualité de vie des résidents tout en optimisant l'utilisation des ressources publiques limitées. La base fine des données démographiques fournit les bases scientifiques nécessaires à cette offre de services.

Les décideurs peuvent évaluer précisément les besoins des différents groupes de population et élaborer des plans de fourniture de services, incluant les aspects suivants :

1. **Fourniture de biens publics liés aux infrastructures et à l'espace :**

L'intégration des bases fines des données démographiques avec les réseaux de transport urbain, les points d'intérêt (POI) publics et les algorithmes de données permet de soutenir la fourniture de biens publics dans divers scénarios :

- **Planification et suivi des équipements dans un rayon de 15 minutes :** Grâce à des algorithmes spatiaux calculant les parcours piétonniers accessibles et combinés avec les données fines de population, il est possible de mesurer précisément la taille des groupes concernés par un équipement donné, puis d'ajuster l'offre en fonction des besoins spécifiques des segments de population.

- **Planification des ressources éducatives :** En combinant les données démographiques et éducatives, on peut prévoir la population scolaire, calculer les places disponibles dans les établissements scolaires et optimiser la distribution des ressources éducatives. Ces informations peuvent être partagées par des applications pour soutenir les décisions des citoyens concernant leur logement et la scolarisation de leurs enfants.

2. **Fourniture de services sociaux pour des groupes spécifiques :**

Les étiquettes des profils démographiques détaillés permettent de cibler précisément des groupes de population et de fournir des services personnalisés, tels que :

- **Soutien aux groupes vulnérables :** En croisant les données démographiques, il devient possible de localiser les personnes âgées, handicapées, chômeurs ou autres citoyens en difficulté, afin d'assurer une distribution efficace des services sociaux.

- **Services médicaux :** Pour améliorer l'accès aux services des médecins de famille dans les hôpitaux communautaires, on peut cibler les groupes à risque comme les femmes enceintes ou les malades graves, leur fournir des consultations médicales continues et des rappels de santé adaptés.

3. **Participation publique et autres biens publics orientés services :**

La combinaison des données fines et des nouvelles technologies de participation numérique, telles que la réalité virtuelle et les avatars numériques, permet de surmonter les limites des réunions physiques et d'encourager la participation des citoyens à des réunions communautaires ou des assemblées de copropriétaires, augmentant ainsi la participation démocratique.

4.4 Application de la base fine des données démographiques à la planification territoriale

Avec l'amélioration du système de planification du territoire, les exigences pour les jumeaux numériques urbains se sont intensifiées. En offrant une représentation fidèle du système "espace-population", la méthode proposée permet d'agréger les données fines "précises à l'échelle du foyer" vers des unités de gouvernance spatiale à différents niveaux, fournissant ainsi des bases de données précises pour différents types de planification.

1. Planification générale :

Pour les besoins de gestion complète et de contrôle des éléments du territoire, la base fine des données démographiques fournit des informations détaillées sur la structure de la population, les flux et les changements dans le temps, offrant ainsi un soutien aux tâches d'identification des relations structurelles, de l'optimisation des fonctions et de l'adaptation dynamique de la planification spatiale.

2. Planification détaillée :

Pour la planification territoriale détaillée, les données fines permettent d'établir des critères et des ajustements concernant la délimitation des unités de planification, les ajustements de portée, ainsi que l'analyse des problèmes et des solutions. Cela permet de promouvoir une gestion plus précise des unités de planification détaillée et une transformation numérique.

3. Évaluations et diagnostics :

Les données fines peuvent être utilisées pour résoudre les problèmes de manque de corrélation entre les informations sur la population et les infrastructures existantes, la gestion des systèmes et les dynamiques sociales. Elles permettent de fournir des bases pour l'amélioration des systèmes de soutien tels que le logement, les services publics, et les transports, tout en optimisant la correspondance entre la population et les ressources disponibles.

4. En ce qui concerne la surveillance de la mise en œuvre. Avec l'introduction du plan de construction du réseau de surveillance de la mise en œuvre de la planification de l'espace territorial (CSPON), établir une plateforme d'informations de base « une carte unique » à l'échelle nationale, provinciale, municipale et régionale de manière numérique est devenu un travail clé. Cette plateforme d'informations collabore avec plusieurs départements et interconnecte horizontalement différents types de systèmes d'affaires, construisant ainsi un nouveau modèle de gouvernance ouverte basé sur la co-création, la co-gestion et le partage [55]. La population de base détaillée peut être l'un des systèmes d'affaires interconnectés horizontalement dans ce réseau, intégré dans la plateforme CSPON. Non seulement elle peut fournir des informations précises sur la population de base pour la plateforme CSPON, mais elle peut également se superposer et s'intégrer avec d'autres données de la plateforme, permettant ainsi à la surveillance de la mise en œuvre de suivre avec précision la relation interactive « espace-population », améliorant ainsi l'efficacité de la surveillance.

5. Conclusion

Le jumeau numérique d'une ville n'a pas pour but de dupliquer tous les éléments de la ville réelle. Comme l'ont souligné Batty et al. [4], il n'a aucun sens de construire un jumeau identique à

un objet réel, sinon le jumeau lui-même deviendrait le système réel. Le concept de jumeau doit être celui où le jumeau se fusionne d'une manière ou d'une autre avec le système réel, sans devenir le système réel lui-même. Dans ce sens, le « jumeau numérique » de la ville doit être conçu comme une « intégration des cartes de données de base » dans la planification, la construction et la gouvernance urbaines, un fondement scientifique pour que les décideurs analysent les problèmes publics et élaborent des politiques d'amélioration. Parmi les nombreux objets pouvant être dupliqués, l'information précise sur la population urbaine de base est la partie la plus essentielle et la plus difficile. Cet article, en réexaminant les méthodes existantes de cartographie de la population de base et leurs problèmes, explore la pratique et construit un chemin de cartographie de la population de base détaillée qui intègre des données cartographiques, des données gouvernementales, des étiquettes de profil et des mégadonnées commerciales, basé sur le principe de « l'espace réel - la population réelle - les besoins réels ». Il examine comment cette technologie peut soutenir la pratique future de la planification urbaine. Ce cadre technologique est proposé en réponse aux besoins urgents de la transformation numérique dans la planification, la construction et la gouvernance urbaines. Il incarne non seulement la mission initiale de la planification urbaine et rurale centrée sur l'humain, mais aide également à réaliser le nouveau concept de développement de « la ville du peuple ».

Remerciements :

Nous remercions l'équipe technique de Shanghai Maice Data Technology Co., Ltd., ainsi que les dirigeants des projets de villes numériques de Pudong, Jing'an, Huangpu, etc., pour leur soutien. Merci aux experts en révision pour leurs commentaires pertinents et leurs suggestions précieuses.

Notes :

1. Définition de la NASA : Le jumeau numérique (digital twin) utilise les meilleurs modèles physiques existants, de nouveaux capteurs, des données historiques, etc., pour simuler de manière intégrée et probabiliste plusieurs champs physiques et échelles, afin de refléter l'état d'utilisation du cycle de vie complet de l'objet jumeau.

2. La base de données graphique (GDB) est un concept en informatique. Il s'agit d'une base de données qui utilise une « structure de graphe » pour les requêtes sémantiques, en utilisant des nœuds, des arêtes et des attributs pour représenter et stocker les données.

3. « Micro-réseau réel » fait référence à la division de la gouvernance en sous-réseaux plus petits tout en maintenant le niveau de travail de la grille existante.

4. Les registres hors ligne désignent les registres de travail administratifs non connectés en ligne, généralement utilisés pour enregistrer diverses informations dans les travaux administratifs.

5. D'après l'expérience actuelle, les données des bases de données spécialisées sur les bâtiments de la commission de gestion des logements sont difficiles à obtenir et sont rarement

utilisées dans la pratique.

Références :

- [1] Zhuang Shaoqin, Zhao Xingshuo, Li Chenyuan. Dimensions et température de la planification de l'espace territorial [J]. *Urban Planning*, 2020, 44(1): 9-13.
- [2] Dang Anrong, Tian Ying, Li Juan, et al. Le processus de développement et les perspectives de la gestion de la planification intelligente de l'espace territorial en Chine [J]. *Science and Technology Review*, 2022, 40(13): 75-85.
- [3] Tao Fei, Liu Weiran, Zhang Meng, et al. Modèle à cinq dimensions du jumeau numérique et applications dans dix domaines [J]. *Systèmes de fabrication intégrée par ordinateur*, 2019, 25(1): 1-18.
- [4] Michael Batty, Lin Xuhui. Jumeau numérique, test de Turing et modèles urbains [J]. *Planification urbaine de Shanghai*, 2023(5): 1-3.
- [5] FULLER A, FAN Z, DAY C, et al. Jumeau numérique : technologies habilitantes, défis et recherches ouvertes [J]. *IEEE Access*, 2020, 8: 108952-108971.
- [6] SEMERARO C, LEZOCHÉ M, PANETTO H, et al. Paradigme du jumeau numérique : revue systématique de la littérature [J]. *Computers in Industry*, 2021, 130: 103469.
- [7] Wan Li, Yin Luoyi, Tang Junqing, et al. Réflexions critiques sur l'application du jumeau numérique dans la pratique de la planification urbaine [J]. *Planification urbaine de Shanghai*, 2023(5): 18-23.
- [8] Yang Tao, Tian Ying, Xu Yanjie. Planification et gouvernance génératives interactives habilitées par le jumeau numérique [J]. *Planification urbaine de Shanghai*, 2023(5): 4-10.
- [9] Yi Xueqin. Expériences et enseignements des constructions de villes numériques en Chine et à l'étranger [J]. *Technologie de l'information et politique*, 2023, 49(8): 25-30.
- [10] Wu Zhiqiang, Gan Wei, Zang Wei, et al. Concept et développement du modèle intelligent urbain (CIM) [J]. *Planification urbaine*, 2021, 45(4): 106-113.
- [11] Yang Tao, Yang Baojun, Bao Qiaoling, et al. Réflexions sur les villes numériques et les modèles d'information urbaine (CIM) : le cas de la plateforme de gestion BIM pour la planification de la Nouvelle Zone de Xiong'an [J]. *Construction urbaine et rurale*, 2021(2): 34-37.
- [12] Zhou Yu, Liu Chuncheng. Logique et innovation dans la construction d'une ville numérique de jumeau numérique dans la Nouvelle Zone de Xiong'an [J]. *Recherche sur le développement urbain*, 2018, 25(10): 60-67.
- [13] Dǎng Ānróng, Wáng Fēifēi, Qū Wēi, et al. Revue sur l'autonomisation du modèle d'information urbaine (CIM) pour le développement des nouvelles villes intelligentes [J]. *Villes Célèbres de Chine*, 2022, 36(1): 40-45.
- [14] Yáng Jùnyàn. De la conception numérique à la gestion numérique : exploration de la

quatrième génération de modèles de conception urbaine à Weihai [J]. *Revue de la planification urbaine*, 2020(2): 109-118.

[15] Yáng Bǎojūn, Yáng Tāo, Féng Zhènhuá, et al. Plateforme de planification numérique : un nouveau modèle de service pour la planification urbaine du futur [J]. *Planification urbaine*, 2022, 46(9): 7-12.

[16] Zhèng Dégāo, Lín Chénhuī, Wú Hào, et al. Recherche spatiale et cadre technologique des portraits numériques pour un développement urbain durable [J]. *Revue de la planification urbaine*, 2023(6): 32-39.

[17] Yáng Tāo, Lǐ Jīng, Lǐ Mèngyáo, et al. Méthode numérique jumeau pour la protection et la revitalisation du patrimoine culturel de la vieille ville de Suzhou [J]. *Revue de la planification urbaine*, 2024(1): 82-90.

[18] Wú Zhìqiáng, Zhōu Mīmī, Liú Qí, et al. "Jumeau intergénérationnel" : refléter les caractéristiques vitales de la ville [J]. *Revue de la planification urbaine*, 2024(1): 9-17.

[19] Tián Yǐng, Yáng Tāo, Dǎng Ānróng. Logique de construction d'une ville jumeau numérique basée sur l'itération de scénarios [J]. *Planification urbaine de Shanghai*, 2023(5): 24-30.

[20] Hán Tāo, Guō Xī. Du jumeau culturel au jumeau technologique puis au jumeau numérique : une étude des logiques des villes jumeaux numériques à partir d'une perspective historique large [J]. *Planification urbaine de Shanghai*, 2023(5): 31-35.

[21] Wáng Xuěméi, Lǐ Xīn, Mǎ Mínguó. Avancées dans l'étude de la spatialisation des données de population basées sur la télédétection et les SIG, et analyse de cas [J]. *Technologie de télédétection et applications*, 2004(5): 320-327.

[22] CHENG L, WANG L, FENG R, et al. Fusion des données de télédétection et de capteurs sociaux pour une cartographie de population à haute résolution avec un réseau neuronal multimodal [J]. *IEEE Journal of Selected Topics in Applied Earth Observations and Remote Sensing*, 2021, 14: 5973-5987.

[24] Niǔ Xīnyì, Lín Shǐjiā. Grands ensembles de données spatio-temporelles dans la recherche en planification urbaine : évolution technologique, sujets de recherche et tendances émergentes [J]. *Revue de planification urbaine*, 2022(6): 50-57.

[25] Dīng Liàng, Niǔ Xīnyì, Sòng Xiǎodōng. Progrès de la recherche sur l'espace urbain basée sur les grandes données de positionnement mobile [J]. *Planification urbaine internationale*, 2015, 30(4): 53-58.

[26] Lǐ Xīngyuè, Chén Fúlín. Études sur les liens urbains et les populations des petites et moyennes villes basées sur les données de signaux de téléphones mobiles [J]. *Transport urbain*, 2020, 18(4): 47-54.

[27] Lǐ Fēngqīng, Zhào Mín, Wú Mèngdí, et al. Analyse de la structure spatiale "multi-centre" des grandes villes et mécanismes de "performance spatiale" : étude basée sur les données LBS et les recensements réguliers à Xiamen [J]. *Revue de la planification urbaine*, 2017(5): 21-32.

[28] Wáng Dé, Liú Zhènyǔ, Yú Xiǎotiān, et al. Analyse stratégique de la taille de la population

- urbaine : étude de cas sur la taille de la population de Wuhan [J]. *Revue de la planification urbaine*, 2017(5): 58-65.
- [29] Lóng Yíng, Zhāng Yǔ, Cuī Chéngyìn. Analyse des relations entre résidence et travail à Beijing en utilisant les données de cartes de transport [J]. *Journal de géographie*, 2012, 67(10): 1339-1352.
- [30] TEH B T, SHINOZAKI M, CHAU L W, et al. Utilisation de l'espace au sol des bâtiments pour l'estimation de la population et de l'emploi dans les zones proches des stations [J]. *Urban Science*, 2019, 3(1): 12.
- [31] Féng Míngxiáng, Fāng Zhìyàng, Lù Xióngbó, et al. Méthode d'estimation de la propagation spatio-temporelle de COVID-19 à l'échelle des zones d'analyse de trafic : étude de cas à Wuhan [J]. *Journal de l'Université de Wuhan (Science de l'information)*, 2020, 45(5): 651-657.
- [32] Liú Xiǎocōng, Liú Yǒngwěi, Cài Fēi, et al. Méthode de recommandation des établissements médicaux d'urgence urbaine basée sur l'accessibilité spatio-temporelle [J]. *Journal des sciences de l'information géographique*, 2019, 21(9): 1411-1419.
- [33] WESOLOWSKI A, O'MEARA W P, TATEM A J, et al. Quantification de l'impact de l'accessibilité sur les soins de santé préventifs en Afrique subsaharienne en utilisant des données de téléphones mobiles [J]. *Épidémiologie (Cambridge, Mass.)*, 2015, 26(2): 223.
- [34] Xú Tāo, Liú Yǐngyīng, Lú Guìyī, et al. Méthode de configuration des installations éducatives urbaines basée sur la différenciation spatiale de la population : étude de cas sur les écoles secondaires du district de Qiaokou à Wuhan [J]. *Recherches urbaines modernes*, 2022, 7(37): 93-99.
- [35] Dǒng Nán, Yáng Xiǎohuàn, Cài Hóngyàn. Méthode de spatialisation des données de population basée sur les attributs de l'espace résidentiel [J]. *Progrès en sciences géographiques*, 2016, 35(11): 1317-1328.
- [36] QIU F, SRIDHARAN H, CHUN Y. Modèle spatial autorégressif pour l'estimation de la population au niveau des blocs de recensement utilisant des informations sur le volume des bâtiments dérivées de LIDAR [J]. *Cartographie et sciences de l'information géographique*, 2010, 37(3): 239-257.
- [37] URALS, HUSSAIN E, SHAN J. Cartographie de la population basée sur des images aériennes et des données SIG [J]. *Journal international de l'observation de la Terre et des informations géographiques appliquées*, 2011, 13(6): 841-852.
- [38] BAKILLAH M, LIANG S, MOBASHERI A, et al. Cartographie de la population à haute résolution utilisant les points d'intérêt d'OpenStreetMap [J]. *International Journal of Geographical Information Science*, 2014, 28(9): 1940-1963.
- [39] Lián Tíng. Estimation de la population à l'échelle du bâtiment basée sur les données des forêts aléatoires et de l'éclairage nocturne [D]. Shanghai : Université normale de l'Est de la Chine, 2019.
- [40] SHANG S, DU S, DU S, et al. Estimation de la population à l'échelle du bâtiment utilisant des

données spatiales multisources [J]. *Villes*, 2021, 111: 103002.

[41] GARRIDO-VALENZUELA F, CATS O, VAN CRANENBURGH S. Où sont les gens ? Compter les gens dans des millions d'images de niveau de rue pour explorer les associations entre la densité urbaine des habitants et les caractéristiques urbaines [J]. *Computers, Environment and Urban Systems*, 2023, 102: 101971.

[42] Lóng Yíng, Cáo Zhèjìng. Méthode de conception urbaine auto-rétroactive basée sur des capteurs et des plateformes en ligne et ses pratiques [J]. *Planification urbaine internationale*, 2018, 33(1): 34-42.

[43] Lǐ Lì, Zhāng Jìng, Fāng Lìxīn. Méthode d'analyse de la collecte de données Wi-Fi de faible précision : étude de cas sur le comportement environnemental à l'échelle du quartier [C] // *Construire le futur : Actes du colloque académique sur les technologies numériques dans les départements d'architecture de 2021*, 2021.

[44] Lǐ Rúpíng, Hé Zǐqí, Zhāng Línyàn, et al. Système de surveillance du flux de personnes basé sur le développement en cloud des mini-programmes WeChat [J]. *Technologie électronique et génie logiciel*, 2021(8): 68-70.

[45] KANNAN P G, VENKATAGIRI S P, CHAN M C, et al. Comptage de foule à faible coût utilisant des tonalités audio [C] // *Actes de la 10e conférence ACM sur les systèmes embarqués et les réseaux de capteurs*, 2012: 155-168.

[46] Zhāng Jùnjūn, Shí Zhìguāng, Lǐ Jíchéng. État actuel et tendances de la recherche sur les technologies de comptage de personnes et d'estimation de la densité de foule [J]. *Ingénierie informatique et sciences*, 2018, 40(2): 282-291.

[47] Lǐ Jiāníng, Zhāng Yìpíng, Tāng Gě, et al. Construction initiale d'un système de travail pour la ville jumeau numérique axé sur la gouvernance de proximité : étude de cas de la ville jumeau numérique de Huamu [J]. *Planification urbaine de Shanghai*, 2023(6): 91-97.

[48] Chén Sī. Recherche sur le modèle d'analyse spatiale basé sur le cycle de vie de la population [J]. *Information géospatiale*, 2020, 18(12): 24-26.

[49] Assemblée nationale de la République populaire de Chine. *Code civil de la République populaire de Chine* [S]. 2020-05-28.

[50] Assemblée nationale de la République populaire de Chine. *Loi sur la sécurité des données de la République populaire de Chine* [S]. 2021-06-10.

[51] Wáng Dé, Rén Xīyuán. Distribution et mobilité de la population réelle à Shanghai sous la perspective des flux quotidiens [J]. *Revue de la planification urbaine*, 2019(2): 36-43.

[52] Zhāng Shàngwǔ, Yàn Lóngxù, Wáng Dé, et al. Analyse des politiques pour l'optimisation de la structure spatiale dans la région métropolitaine de Shanghai : méthode basée sur l'analyse des scénarios de distribution de la population [J]. *Revue de la planification urbaine*, 2015(6): 12-19.

[53] Zhāng Shàngwǔ, Liú Zhènyǔ, Zhāng Hào. Discussion sur la planification détaillée et ses modes de fonctionnement dans le système de planification de l'espace national [J]. *Revue de la*

planification urbaine, 2023(4): 12-17.

[54] Wǔ Jiāng, Wáng Xìn, Chén Yè, et al. Défis des bilans urbains dans les grandes villes et pratiques à Shanghai [J]. *Revue de la planification urbaine*, 2022(4): 28-34.

[55] Wáng Wěi, Liú Zé, Lín Yǔxiān, et al. De la “carte unique” dans la planification de l’espace national au “réseau unique” CSPON : réflexion académique [J/OL]. *Planification et construction à Pékin*, [2024-01-17]: 1-39. <http://kns.cnki.net/kcms/detail/11.2882.tu.20240110.1523.002.html>.