

POUR UNE ANALYSE SOCIO-TECHNIQUE DES Jumeaux NUMÉRIQUES URBAINS. ESQUISSE D'UNE APPROCHE EN TERMES DE CONSTITUTIONNALISME NUMÉRIQUE

FOR A SOCIO-TECHNICAL ANALYSIS OF URBAN DIGITAL TWINS: TOWARDS AN APPROACH IN TERMS OF DIGITAL CONSTITUTIONALISM

Hadrien MACQ

Résumé

Comment les jumeaux numériques urbains et les contextes politiques, économiques et sociaux dans lesquels ils s'inscrivent interagissent ? En s'appuyant sur une approche issue des études sociales des sciences et des techniques, cet article montre qu'il est crucial de considérer les jumeaux numériques urbains comme des objets socio-techniques pour comprendre la manière dont ils interagissent avec le milieu dans lequel ils sont développés et utilisés. Partant, à travers trois cas d'étude, il soulève trois dimensions cruciales (nature de la représentation, promesses épistémiques et conceptions d'une gouvernance désirable) et met en évidence les enjeux que les jumeaux numériques soulèvent en termes politiques et démocratiques. Finalement, il ouvre un agenda de recherche centré autour de la notion de « constitutionnalisme numérique » pour entreprendre de saisir la reconfiguration des modes de gouvernance urbaine engendrée par le développement et l'utilisation de ces objets.

Mots-clés

jumeaux numériques urbains, gouvernance urbaine, socio-technique, co-production, constitutionnalisme numérique, études sociales des sciences et des techniques

Abstract

How do urban digital twins and the political, economic, and social contexts in which they operate interact? Drawing on an approach derived from social studies of science and technology, this article shows that it is crucial to consider urban digital twins as socio-technical objects in order to understand how they interact with the environment in which they are developed and used. Drawing on three case studies, it highlights three crucial dimensions (nature of representation, epistemic promises, and conceptions of desirable governance) and points to the political and democratic issues raised by digital twins. Finally, it opens up a research agenda centered around the notion of "digital constitutionalism" in order to understand the reconfiguration of urban governance modes brought about by the development and use of these objects.

Keywords

digital urban twins, urban governance, socio-technical, co-production, digital constitutionalism, science and technology studies

INTRODUCTION

Les villes sont de plus en plus souvent et intensivement mises en données (Meijer, 2018). Cette mise en données implique l'utilisation de technologies numériques pour saisir différents aspects de l'urbain sa matérialité (par exemple, l'environnement bâti ou la circulation automobile et cycliste), mais aussi les interactions sociales et les comportements humains qui ont lieu dans les zones urbaines (Dijck, 2014 ; Hepp *et al.*, 2022). Les éléments saisis sont transformés en données numériques qui peuvent être analysées de manière systématique. Souvent associée aux initiatives de « villes intelligentes », la mise en données est considérée comme un moyen

essentiel pour mieux connaître les villes, enrichir la prise de décision grâce à l'analyse prédictive, mais aussi permettre une participation ascendante à la gouvernance urbaine via des plateformes numériques (Alzola, 2024 ; Karvonen *et al.*, 2020 ; Przybilovicz et Cunha, 2024). Cependant, la mise en données urbaine soulève des questions politiques, notamment parce qu'elle implique à la fois de représenter le monde et d'agir sur lui. Elle consiste en effet à enregistrer numériquement des choses qui existent quelque part dans la « réalité » afin de les rendre non seulement visualisables mais également exploitables. En d'autres, il s'agit de montrer aux gens non seulement quelque chose qu'ils peuvent percevoir, mais aussi quelque chose sur lequel ils peuvent réfléchir et agir (Jasanoff,

2017). La collecte et le traitement des données ont donc un effet performatif : les données ne sont pas une simple représentation d'un phénomène donné, mais une construction utilisée pour agir sur le monde (Bowker et Star, 1999 ; Scott, 1998).

Ces enjeux figurent au premier plan de l'essor actuel des jumeaux numériques urbains, qui peuvent être vus comme la dernière étape en date de cette mise en données de la gouvernance urbaine. Le terme « jumeau numérique » trouve son origine dans l'industrie manufacturière et désigne une réplique virtuelle d'une entité physique ou d'un processus, connectée en temps réel par un flux bidirectionnel de données et d'informations et qui est capable de se mettre à jour en fonction des évolutions de l'entité physique, et d'agir sur celle-ci en réaction (Grievies et Vickers, 2017). Récemment, ce concept a été transposé à divers contextes, notamment l'urbanisme et l'administration locale. Dans ce cadre, de nombreuses conceptualisations des jumeaux numériques urbains suggèrent un modèle virtuel de la ville détaillé, interactif, et mis à jour en temps réel, qui permet de représenter et d'analyser son pendant dit « réel ».

Des projets de jumeaux numériques urbains se répandent de manière massive à travers le monde, principalement dans les pays de l'hémisphère nord. Par exemple, des villes comme New-York, Boston, Shanghai, Singapour, Helsinki, ou Zurich utilisent déjà des jumeaux numériques. Ces derniers y permettent, par exemple, de mesurer la hauteur des bâtiments, des ombres que ces derniers projettent en fonction de l'ensoleillement à un moment donné de la journée, de modéliser des flux de trafic routier ou la circulation et la qualité de l'air en ville. De manière générale, les jumeaux numériques sont utilisés pour mieux connaître, anticiper et contrôler le développement de villes qui font face à des défis croissants : embouteillages, îlots de chaleur, pénurie de logements, augmentation de la demande en énergie, etc. Souvent présentés comme une forme de panacée aux problèmes urbains, les jumeaux numériques urbains sont également promus par de nombreuses organisations internationales telles que l'Organisation de Coopération et de Développement Économiques (OCDE) et l'Union Européenne (UE), à travers des politiques publiques qui visent à accélérer le développement de ces technologies au sein de leurs territoires.

Dans ce contexte donc, les jumeaux numériques urbains sont de plus en plus loués comme des plateformes cruciales pour la gouvernance urbaine en ce qu'ils relient des données et des acteurs afin de générer des connaissances sur la ville (par exemple, la surveillance de la pollution atmosphérique), de servir de bancs d'essai virtuels pour des scénarios futurs (par exemple, tester de nouveaux plans de mobilité avant de les mettre en œuvre) et de fournir des interfaces de visualisation pour impliquer les parties prenantes et les citoyens dans la gouvernance urbaine (par exemple, consulter les acteurs privés et les citoyens sur les permis de construire).

Si la littérature actuelle sur les jumeaux numériques provient en grande partie de disciplines s'intéressant principalement aux aspects techniques de ceux-ci, les sciences humaines et sociales s'intéressent également de plus en plus à ces objets et à leurs liens avec des enjeux sociaux, économiques, et politiques. Dans cette perspective, mes travaux s'inscrivent dans le champ des études sociales des sciences et des techniques (*Science and Technology Studies – STS*), un champ interdisciplinaire qui examine la science et la technologie en tant qu'activités sociales et matérielles. La position centrale des STS est l'idée que tous les aspects de la science et de la technologie peuvent être étudiés et compris comme étant construits, c'est-à-dire créés par des personnes particulières ayant des objectifs particuliers, opérant dans des contextes spécifiques et utilisant une matérialité et des techniques particulières (Sismondo, 2010).

L'objectif de cet article est triple. D'une part, il s'agit d'éclairer ces jumeaux numériques urbains comme des objets tant techniques que sociaux (i.e., « socio-techniques ») et d'introduire, au sein d'un numéro spécial d'une revue de géographie, une approche analytique issue des sciences sociales, et en particulier des STS. D'autre part et partant de cette approche, il s'agit de se demander comment les jumeaux numériques urbains s'inscrivent dans la dynamique plus large de mise en données des villes, les questions nouvelles qu'ils posent et les enjeux existants qu'ils réactualisent. À cet égard, trois études de cas issues d'une enquête collective seront mobilisées afin d'illustrer les interactions multiples entre le développement de jumeaux numérique et des conceptions locales d'une

gouvernance jugée désirable. Enfin, en partant des enjeux politiques et démocratiques soulevés par l'analyse susmentionnée, il s'agit d'esquisser les contours d'un agenda de recherche pour saisir finement comment les jumeaux numériques engendrent ou non une transformation profonde des modes de gouvernance urbaine et des relations entre autorités publiques, acteurs privés, et citoyens.

La section suivante, je reviens sur quelques analyses principalement techniques des jumeaux numériques avant d'introduire les apports récents des sciences sociales et d'une approche socio-technique de ces objets. Par la suite, j'introduis la notion de « co-production » afin de saisir les interactions multiples entre le développement et l'utilisation de jumeaux numériques et les modes de gouvernance urbaine auxquels ils s'adossent et qu'ils sont censés transformer. J'illustre mon propos par la présentation des résultats d'une analyse comparative de trois projets de jumeaux numériques, à Boston, Namur et Munich. Enfin, soulignant les apports d'une telle analyse mais également les questions qu'elle laisse jusqu'ici ouvertes, j'esquisse un agenda de recherche futur autour de la notion de « constitutionnalisme numérique ».

I. ANALYSER LES INTERACTIONS ENTRE JUMEAUX NUMÉRIQUES ET GOUVERNANCE URBAINE

La plupart des publications universitaires sur les jumeaux numériques urbains consistent jusqu'à présent en des discussions techniques sur leur conception ou leur mise en œuvre (Rose, 2025). Nombre de ces travaux sont définitionnels, et tentent de répondre à la question en apparence basique mais hautement complexe Qu'est-ce qu'un jumeau numérique ? Ces travaux portent sur la correspondance plus ou moins précise entre la réalité de ce qui est concrètement développé dans le cadre de projets dits de « jumeaux numériques » et une définition stricte de ce qui mériterait d'être appelé « jumeau numérique ». Par exemple, certains auteurs ont débattu de la pertinence même de l'utilisation du terme « jumeau » (Batty, 2018), certains concluant que la métaphore du « jumeau » numérique devrait être remplacée par celle du « cerveau » d'un organisme vivant (Tomko et Winter, 2019).

Ces débats s'accompagnent d'efforts visant à établir des typologies, soit pour distinguer les « jumeaux » d'autres entités, soit pour distinguer différents types de « jumeaux » entre eux. L'une des typologies les plus fréquemment invoquées est celle qui distingue entre « modèle », « ombre », et « jumeau » numérique (Kritzinger *et al.*, 2018). Dans cette typologie, un « modèle » numérique est une représentation numérique unique d'un objet physique qui n'utilise aucune forme d'échange automatisé de données entre l'objet physique et son équivalent numérique. Une « ombre » numérique est un modèle enrichi d'un flux de données automatisé à sens unique, de l'objet physique vers l'objet numérique. Dans cette situation, un changement d'état de l'objet physique entraîne une mise à jour automatisée de l'objet numérique, mais pas l'inverse. La représentation numérique est dite « jumeau » lorsque les flux de données entre l'objet physique et son équivalent numérique sont automatisés dans les deux sens. Dans ce cas, l'équivalent numérique peut également contrôler automatiquement l'objet physique, via des actionneurs. Transposée dans le domaine urbain, cette typologie modèle/ombre/jumeau s'est avérée illusoire pour certains chercheurs. En effet, la plupart des projets qui portent le nom de « jumeau numérique » sont en réalité assez loin d'approcher un « véritable » jumeau en termes d'interconnexion synchronisée. C'est ce que décrivent Kitchin et Dawkins (2025, p. 623), qui parlent donc d'un « modèle » plutôt que d'un « jumeau » « certaines modifications du monde réel peuvent être reflétées dans le modèle, comme l'affichage des données des capteurs en temps réel, mais cela reste limité, les modifications importantes du paysage urbain n'étant mises à jour que rarement dans le modèle ».

Ces débats sur les définitions et les typologies sont nécessaires et pertinents dans la mesure où ils offrent un éclairage sur les technologies développées à travers la diffusion actuelle des projets dits de « jumeaux numériques urbains ». Cependant, ils comportent au moins deux limites principales, qui doivent être surmontées pour mieux comprendre ce que la diffusion des jumeaux numériques signifie pour les transformations de la gouvernance urbaine (voir également Macq, Jeddoub, *et al.*, 2025).

Premièrement, indépendamment de leur adéquation avec les définitions strictes d'un

jumeau, des projets dits « jumeaux numériques urbains » continuent de proliférer. Aussi utiles soient-ils pour clarifier a posteriori les noms des technologies développées, les efforts de définition et de typologie ne permettent pas de prendre au sérieux les projets que les acteurs appellent « jumeaux numériques », quand bien même ils ne correspondraient pas à la définition donnée d'un jumeau dans la littérature existante. Il est donc important de développer des approches plus empiriques et pragmatiques qui nous permettent de prendre au sérieux les acteurs et leur discours et d'étudier les projets en cours de réalisation, afin de ne pas passer à côté d'une partie importante de la dynamique qui se développe à travers la prolifération actuelle des projets qui se revendiquent de la notion de jumeau numérique.

Deuxièmement, ces débats sur les définitions et les typologies ont tendance à se concentrer exclusivement sur les dimensions techniques des jumeaux numériques, sur les technologies impliquées dans la création du jumeau et ce que le jumeau peut faire techniquement, par exemple en termes de synchronisation, de données produites et traitées, d'intégration plus ou moins grande des différentes couches d'informations sur la ville, etc. (voir, par exemple, Jeddoub *et al.*, 2023). Il ne s'agit évidemment pas de contester l'utilité de ces travaux, mais de noter que cette approche centrée sur la technologie des jumeaux numériques urbains ne tient pas suffisamment compte des nombreux aspects non techniques qui entrent en compte dans la manière dont ces objets sont conçus, développés, et mis en pratique (Lei *et al.*, 2023). En effet, le développement et l'utilisation des jumeaux numériques urbains sont des phénomènes qui tiennent tant du technique que du social, au point d'en brouiller les frontières. Autrement dit, ce sont des objets éminemment « socio-techniques » (Nochta *et al.*, 2021) ils impliquent des interactions constantes et évolutives entre des entités techniques et des entités sociales (acteurs, institutions, valeurs, intérêts, etc.).

Comme le soulignent les recherches en sciences sociales qui leur sont consacrées, les jumeaux numériques urbains ne sont pas une « copie » ou un « miroir » neutre de la ville qu'ils cherchent à représenter (Amoore, 2025 ; Knopf *et al.*, 2025). En se penchant sur le fonctionnement

réel des jumeaux numériques, plusieurs auteurs soulignent en effet qu'un jumeau numérique restera toujours une représentation incomplète de l'entité physique qu'il est censé représenter, mettant en évidence sa sensibilité toujours située dans des contextes singuliers (Batty, 2018 ; Nochta *et al.*, 2021). Korenhof *et al.*, 2021) affirment que les jumeaux numériques sont « sous-tendus par des cadres normatifs et des instances d'inclusion et d'exclusion » (p. 18). Plus spécifiquement, (Westerlaken, 2024) a fait valoir que les jumeaux numériques sont réductionnistes et renforcent les structures de pouvoir existantes. Rose (2025) soutient que les jumeaux numériques urbains donnent forme à une vision spécifique de l'environnement urbain et de ses habitants, fortement marquée par une logique d'exploitation de l'environnement et des corps.

Les jumeaux numériques apparaissent donc non pas comme des représentations objectives, neutres, des entités physiques qu'ils entendent répliquer, mais le résultat d'un jumelage qui est toujours un processus dans lequel des éléments sont inclus ou exclus d'une représentation numérique en fonction des décisions prises par des acteurs sociaux. Ces acteurs sociaux ne sont eux-mêmes ni objectifs ni neutres en ce qu'ils sont influencés par des conceptions plus larges de ce qu'est tout autant un « bon » jumeau numérique qu'une « bonne » gouvernance urbaine. La représentation numérique d'une ville à travers un processus de jumelage apparaît donc comme intrinsèquement liée à la manière dont une gouvernance désirable de cette ville est conçue. Il en résulte que la représentation numérique et les formes réelles de gouvernance doivent être analysées conjointement. La création des jumeaux numériques urbains s'inscrit en effet dans des mécanismes plus larges et bien établis, tels que l'urbanisme, les modèles physiques et conceptuels, et les processus de consultation participative qui utilisent des représentations matérielles, discursives ou numériques de la ville.

Pour comprendre comment les jumeaux numériques urbains voient le jour et comment la relation entre la technologie, la connaissance et le pouvoir est façonnée à la fois par des possibilités matérielles et par les visions et les décisions des acteurs, la notion de « co-production » offre un point de départ fécond. Cette notion nous aide en effet à penser que « la manière dont nous

connaissions et représentons le monde (à la fois la nature et la société) [est] indissociable de la manière dont nous choisissons d'y vivre » (Jasanoff, 2004, p. 2). Une perspective co-productionniste des jumeaux numériques urbains nous enjoint donc à conceptualiser les jumeaux numériques comme un ensemble de technologies qui sont tout sauf évidentes et objectives, car ce qui est considéré comme des données pertinentes dépend de choix normatifs préalables concernant ce qui mérite d'être enregistré, qui est le mieux placé pour collecter et communiquer les données, et quelles formes d'analyse et de représentation sont jugées convaincantes (Jasanoff, 2017). Plutôt que de considérer les jumeaux numériques comme un simple « reflet » de la réalité, une perspective co-productionniste suggère que, au fil du processus de jumelage, certains éléments sont inclus ou exclus d'une représentation numérique, en fonction des choix effectués par les acteurs sociaux, eux-mêmes influencés par des conceptions plus larges de ce qu'est un « bon » jumeau numérique, des objectifs qu'il sert et de la manière dont il est censé améliorer la gouvernance urbaine pour un argument similaire dans le domaine de la production d'énergie solaire (Solman *et al.*, 2022).

À partir de là, une perspective co-productionniste s'intéresse plus spécifiquement à la manière dont les jumeaux numériques sont conçus pour s'intégrer à des contextes locaux et, donc, spécifiques. Cette perspective analytique explore les différents facteurs et les dynamiques à l'œuvre au sein du processus de création d'un jumeaux numériques. Elle soulève des questions sur la manière dont les jumeaux numériques urbains, alors même qu'ils sont de plus en plus promus par des compagnies privées de solutions logicielles standardisées, sont toujours situés localement et doivent être adoptés par et adaptés pour des institutions publiques locales. Ce faisant, l'approche co-productionniste saisit également les effets des jumeaux numériques sur la gouvernance urbaine pendant et après leur développement.

Afin d'illustrer le type de résultats et d'enseignement qu'il est possible de tirer de l'analyse d'un matériau empirique suivant une telle approche, je reviens ici sur une recherche récente dans laquelle deux collègues de l'Université Technique de Munich et moi-même avons

développé une analyse co-productionniste de trois projets de jumeaux numériques urbains dans trois villes différentes Boston, Namur et Munich (pour plus de détails, voir Knopf *et al.*, 2025). Comme développé ci-après, l'approche co-productionniste évoquée dans cette section permet de situer les jumeaux numériques urbains dans le contexte plus large de la transformation de la gouvernance urbaine par les technologies numériques, en examinant les interactions multiples entre des projets de jumeaux numériques en cours de développement et d'utilisation et les dimensions socio-politiques de modes de gouvernance locaux. Comme nous le verrons, notre analyse s'est structurée autour de trois dimensions qui se sont retrouvées dans chacun des cas (1) le type de représentation de la ville qui est attendue d'un jumeau numérique ; (2) les promesses épistémiques véhiculées par les jumeaux numériques urbains ; (3) la manière dont les jumeaux numériques sont articulés à des formes de gouvernance jugées désirable.

II. UNE ANALYSE CO-PRODUCTIONNISTE DE TROIS PROJETS DE JUMEAUX NUMÉRIQUES¹

En termes de posture épistémique et de méthodes d'enquête, cette recherche a suivi une approche qualitative, interprétative et pragmatique basée sur la théorie ancrée (Charmaz, 2006). Des analyses antérieures utilisant la perspective co-productiviste ont souligné l'intérêt des méthodes comparatives pour révéler les spécificités locales et situées des différents cas d'étude (Jasanoff, 2007). Nous avons mené une analyse comparative des trois projets de jumeaux numériques afin d'étudier leur mise en œuvre au niveau local et d'en tirer des enseignements sur les liens entre les conceptions d'une gouvernance urbaine désirable et les technologies déployées à cette fin. Nous avons principalement recueilli nos données au moyen d'entretiens semi-directifs menés à Boston (5 personnes), Namur (6 personnes) et Munich (8 personnes), ainsi que par l'analyse de documents (articles de presse, déclarations publiques, sites internet). Ces enquêtes de terrain ont été menées entre mars 2023 et mars 2024. Nous avons contacté les participants pertinents en identifiant les acteurs impliqués dans les projets de jumeaux numériques, notamment des employés du secteur public, mais aussi plusieurs représentants du secteur privé et des experts du domaine au sens large.

Nous avons d'abord abordé notre matériel empirique par le biais d'une analyse inductive. Au fur et à mesure de notre progression, nous avons identifié des catégories pertinentes pour la comparaison des trois villes en nous basant sur des thèmes émergents et récurrents qui seront expliqués plus en détail ci-dessous. Nous avons systématiquement codé nos données, à la recherche de modèles et de liens qui mettaient en évidence les aspects uniques mais aussi communs des différents projets. Ce processus itératif a impliqué une comparaison constante, au cours de laquelle nous avons continuellement affiné nos catégories et nos thèmes afin de nous assurer qu'ils reflétaient fidèlement les nuances de l'approche de chaque ville en matière de projets de jumeau numérique. En recoupant nos conclusions avec des informations supplémentaires telles que des articles de presse, des déclarations publiques et des sites web, nous avons développé une compréhension globale du fonctionnement des jumeaux en tant qu'outils de gouvernance, tout en restant attentifs aux spécificités locales qui façonnent leur développement et leur utilisation. Avant d'aborder les résultats de cette recherche, je présente ici une brève note introductive à chacun des trois projets.

À Boston, le jumeau numérique est synonyme d'un modèle 3D de la ville, également appelé « modèle intelligent », qui est géré par l'équipe en charge des systèmes d'information géographique (SIG) du département de l'urbanisme, anciennement l'Agence d'urbanisme et d'aménagement de Boston (*Boston Planning and Development Agency*, BPDA). La BPDA a commencé à travailler sur des modèles numériques 3D de projets de développement vers l'an 2000, afin de mieux comprendre les nouveaux développements dans leur contexte. Leur modèle 3D intelligent basé sur le SIG a été développé au début des années 2010. Ce n'est que depuis les années 2020 que ce modèle est associé au concept de jumeau numérique. Bien qu'il ait été difficile au départ de lancer le projet, le modèle 3D a reçu un coup d'accélérateur grâce au développement controversé d'un projet de construction appelé Winthrop Square. Ce projet de développement aurait, entre autres problèmes, projeté plus d'ombre sur le Boston Common Park, dans le centre-ville de Boston, que ce qui est légalement autorisé et aurait eu un impact sur les routes aériennes vers l'aéroport. La nécessité de

protéger le parc a justifié la réalisation d'analyses d'ombre et de visibilité, positionnant le modèle 3D comme un outil efficace à cette fin. La BDPA a créé l'« étude d'ombre » en coopération avec la société de logiciels ESRI, active à l'échelle mondiale, qui est depuis lors partenaire et consultant externe du projet.

« Namur 3D » est un modèle 3D de la ville de Namur, capitale administrative de la Wallonie (Belgique). Il est accessible au public via une plateforme web, où les utilisateurs accèdent à une carte de la ville qui présente une vue par défaut de l'hôtel de ville, avec tous les bâtiments de la ville modélisés en 3D. La plateforme de visualisation web est également intégrée à « Namur Intelligente et Durable » (NID), un espace physique qui vise à placer les citoyens au cœur du débat sur l'avenir de Namur et à questionner « le rôle des villes face aux défis actuels et futurs ». En créant cet outil, la municipalité de Namur a cherché un moyen de remédier à un manque perçu de sensibilisation du public aux questions de durabilité. Les origines de Namur 3D résident dans la volonté de l'ancien échevin l'aménagement du territoire, du développement urbain et de l'énergie (Parti écologiste, en fonction de 2006 à 2018). Ce dernier a développé plusieurs projets importants en matière d'aménagement du territoire et de développement urbain, liés à l'ambition de lutter contre le changement climatique au niveau urbain en faisant de Namur une ville écologiquement durable. Pour atteindre cet objectif, l'échevin et son cabinet ont élaboré des politiques visant à réduire la consommation d'énergie dans la ville, notamment en améliorant l'efficacité énergétique des logements privés. L'un des enjeux étaient pour eux d'arriver à atteindre le plus de citoyens possibles et à leur rendre visibles des choses aussi abstraites que l'isolation de leur maison. La construction d'un modèle 3D de la ville est apparue comme une solution pour sensibiliser le public et développer une meilleure connaissance de la ville pour les urbanistes. Cependant, outre son accessibilité au public, les membres du service d'urbanisme n'utilisent actuellement cet outil qu'occasionnellement comme un dispositif consultatif sans force contraignante, notamment pour vérifier certains éléments dans le cadre des enquêtes de conformité des permis de construire. Jusqu'à présent, le modèle n'a pas été développé pour devenir un outil de planification ou de prise

de décision plus large, ni intégré dans l'ensemble des services administratifs.

La ville de Munich considère son jumeau numérique comme « le cœur numérique de la ville future de Munich », selon les déclarations publiées sur son site web officiel. Il est développé en coopération entre le service de géo-données de Munich, le département informatique, les services municipaux et des partenaires externes tels que l'Université Technique de Munich et plusieurs acteurs du secteur privé. Tout en reconnaissant que le modèle 3D est un élément important d'un jumeau numérique, Munich envisage son jumeau non pas comme un modèle unique, mais comme un concept interconnecté qui intègre les différentes ressources numériques de la ville. Le développement du jumeau numérique de Munich a débuté en 2018, à partir d'autres projets de ville intelligente. Forts de leur expérience dans divers projets, les initiateurs sont arrivés à la conclusion qu'une représentation numérique était nécessaire pour mieux exploiter les données urbaines et fournir une meilleure base pour la prise de décision. Un petit groupe de personnes au sein de l'administration municipale a œuvré à faire décoller ce projet. Depuis lors, il a été soutenu par plusieurs projets financés par des tiers, par exemple à travers un montant de 10 millions d'euros dans le cadre du programme fédéral d'action *Clean Air 2017 to 2020*, intégré dans l'objectif global de lutte contre la pollution atmosphérique en matière de mobilité. Le projet de jumeau numérique s'est encore développé à travers un financement de 30 millions d'euros provenant du programme fédéral *Smart Cities* et du soutien au projet *Connected Urban Twins* cherchant à promouvoir le transfert de connaissances entre les municipalités et la participation citoyenne.

En comparant ces trois cas, nous avons cherché à savoir comment les jumeaux numériques prennent forme et évoluent parallèlement à des conceptions particulières de la gouvernance dans des contextes urbains spécifiques. Plus précisément, nous avons examiné comment les promesses et les notions de gouvernance urbaine désirable sont inscrites dans la conception même des jumeaux numériques urbains, et comment ceux-ci, à leur tour, permettent de nouvelles visions et approches de la gouvernance. Grâce à notre analyse, nous avons identifié trois thèmes clés où les

interrelations entre la technologie, la connaissance et la gouvernance étaient les plus évidentes le type de représentation de la ville fourni par le jumeau numérique, les promesses épistémiques qui y sont associées et la vision propre à chaque ville d'une gouvernance désirable exprimée et rendue possible par le jumeau numérique. Les sous-sections suivantes présentent un résumé synthétique de ce que ces trois dimensions permettent de saisir des interactions entre jumeaux numériques et gouvernance urbaine dans les trois cas.

A. Représentations

Le jumeau numérique de Boston porte les traces de son contexte d'origine la nécessité d'une analyse parallèle pour un projet de développement urbain controversé. Le jumeau numérique est conçu et utilisé de manière plutôt ciblée sur l'urbanisme et l'examen des projets de développement. Plus précisément, la représentation de la ville inclut des aspects définis par le code de zonage de Boston, en particulier les conditions dans lesquelles les bâtiments proposés doivent faire l'objet d'une procédure d'examen officielle et répondre à des critères spécifiques. Le jumeau montre quels bâtiments font actuellement l'objet d'une procédure légale d'examen et quel est leur statut selon cette logique. Après une mise à jour du modèle, les visiteurs peuvent désormais choisir de voir la ville « existante » ou « future », y compris le statut des bâtiments avec un code couleur dédié. Se présentant comme une plateforme d'aperçu des projets de développement à Boston, elle fournit également des informations telles que l'adresse, l'identifiant du projet et son statut.

Le jumeau de Namur montre les géométries 3D d'environ 45 000 bâtiments de la ville, ainsi que les textures des façades des bâtiments. Chaque bâtiment du modèle est enrichi de multiples couches d'informations, notamment son adresse postale, son année de construction, son potentiel photovoltaïque, ainsi que l'imagerie thermographique du toit. Ce jumeau est consultable sur une plateforme web 3D publique, créée afin de rendre toutes les données visibles pour les citoyens. Cette représentation, et en particulier la visualisation des conditions énergétiques des bâtiments de manière accessible au public, reflète non seulement l'objectif de la ville de favoriser la durabilité écologique, mais s'aligne également

sur l'objectif de sensibilisation et d'éducation des citoyens aux questions liées à l'efficacité énergétique et au climat plus largement qui ont motivé la création de ce modèle.

Contrairement aux cas de Boston et de Namur, le jumeau numérique de Munich ne peut être associé à une seule entité ou un seul lieu. Il s'agit plutôt d'un écosystème qui relie diverses ressources numériques à travers la ville au sein d'une plateforme de données urbaines intégrée. Cette conception du jumeau numérique implique également un portail de données ouvertes qui rend certaines données accessibles au public. Les priorités du processus de jumelage reflètent les premiers programmes de financement qui ont permis de développer le jumeau : elles concernent le lien entre la mobilité et la qualité de l'air, et l'accent mis sur les données relatives au trafic motorisé. En conséquence, l'usage du jumeau a notamment débouché sur la réalisation d'un modèle de l'espace routier qui représente non seulement visuellement les rues et d'autres éléments, mais aussi les règles de circulation, ainsi que des visualisations en 3D de nouvelles pistes cyclables dans différents quartiers de Munich. Ces efforts illustrent comment le jumeau de Munich est envisagé comme une plateforme évolutive qui intègre diverses représentations, permettant le partage de données entre les services municipaux et s'alignant sur les priorités de gouvernance.

À travers les différents cas, notre analyse a non seulement montré que les priorités de gouvernance d'une ville sont mises en avant dans les représentations fournies par leurs jumeaux numériques, mais aussi qu'elles influencent la manière dont les administrations collectent et communiquent les informations sur des questions spécifiques. La manière dont chaque jumeau numérique est construit et ce qu'il permet de visualiser reflète la manière dont les acteurs envisagent de travailler avec ce type d'outil. La représentation a des implications pour d'autres aspects matériels, tels l'ensemble des techniques, des connaissances et des acteurs qui sont nécessaires au maintien et à la mise à jour du jumeau numérique. Cela nous invite à nouveau à réfléchir au caractère sélectif des processus jumelage et à examiner quels aspects n'ont pas été priorisés et représentés, et donc *in fine* à la discussion sur ce qu'un « jumeau » est

censé transmettre. En fin de compte, les aspects et les dimensions rendus visibles par les jumeaux numériques façonnent non seulement la manière dont les problèmes urbains sont formulés mais également les pistes qui peuvent être envisagées pour résoudre ces problèmes.

B. Promesses épistémiques

À Boston, les attentes des acteurs vis-à-vis du jumeau reflètent l'objectif principal qui consiste à améliorer l'efficacité du travail de l'administration de l'urbanisme et du développement urbain et à optimiser les procédures d'examen en matière de développement urbain. Le jumeau est dès lors apprécié pour la possibilité qu'il offre de réaliser rapidement des études de conception, grâce à la capacité de replacer visuellement les plans d'urbanisme et d'aménagement dans un contexte plus large et d'offrir une vue d'ensemble au-delà des bâtiments individuels. Cela va de pair avec le fait que les différents professionnels (architectes, designers, spécialistes des systèmes d'information géographique, etc.) intègrent de plus en plus leurs perspectives et leurs outils logiciels respectifs. Le jumeau numérique promet alors de fournir un système complet où les informations, les outils et les ressources nécessaires à la planification, à l'analyse et à la prise de décision en matière d'urbanisme et de développement urbain sont accessibles sur une seule plateforme.

À Namur, le jumeau numérique promet de rendre tangibles des concepts abstraits liés à la durabilité environnementale. En tant que nouvel outil s'inscrivant dans le cadre des politiques de durabilité urbaine préexistantes, le jumeau promet de rendre visible des phénomènes auparavant invisibles, permettant ainsi aux parties prenantes d'acquérir des connaissances dites « objectives » sur un élément important de l'urbanisme d'une ville. L'accent est ici mis sur une intention éducative en fournissant des informations détaillées et accessibles sur l'efficacité énergétique et les initiatives climatiques de la ville, le jumeau numérique vise à sensibiliser les citoyens aux questions d'économie d'énergie et d'environnement.

À Munich, l'intégration des connaissances et des différentes sources de données est une promesse essentielle. Le jumeau numérique est conçu

pour aider les membres de l'administration à rassembler des informations complexes et variées, facilitant ainsi une compréhension globale du paysage de la ville et de ses différents secteurs tels que la mobilité, l'énergie ou le climat, grâce à une base de données actualisée. Cette approche vise à démanteler les cloisonnements traditionnels entre les services, permettant ainsi aux données et à l'expertise de divers secteurs (transports, gestion environnementale et urbanisme) d'interagir de manière transparente et de favoriser la collaboration interdisciplinaire. Le jumeau est donc l'instrument d'une intégration des connaissances au-delà des frontières administratives, améliorant ainsi la planification et la prise de décision dans la ville. La promesse épistémique s'étend ainsi à l'apprentissage organisationnel, afin de surmonter le problème d'administrations publiques au sein desquelles la communication et la collaboration entre les services n'est pas jugée optimale.

Dans les trois cas, le jumeau numérique ne consiste pas seulement à utiliser des données, mais est également lié à la capacité de parler simultanément et plus efficacement de différents aspects de la vie urbaine. Une partie de la promesse des jumeaux numériques réside dans leur capacité supposée à rendre tangible l'abstrait et visible l'invisible. En transformant les données numériques en représentations visuelles, ils sont censés fournir une compréhension plus claire des impacts potentiels et permettre des évaluations complètes de problèmes publics. Grâce à l'accès promis par les jumeaux à des informations complexes et croisées sur la ville, les acteurs institutionnels espèrent non seulement améliorer la prise de décision, mais aussi faciliter la compréhension des enjeux urbains parmi les acteurs non-experts et le public. Les acteurs espèrent que cela améliorera la transparence et l'engagement du public en communiquant clairement les enjeux urbains et les impacts des politiques publiques.

C. Conceptions d'une gouvernance désirable

À Boston, le développement de l'UDT incarne une idée de ce que devrait devenir à l'avenir le processus d'examen des projets d'aménagement. Le souhait d'un « guichet unique » suggère un processus efficace et simple qui devrait faciliter la gestion du cadre réglementaire du processus.

À Namur, le modèle 3D s'inscrit dans une double approche de la gouvernance. D'une part, il s'agit d'une gouvernance capable de former des citoyens informés en fournissant des données transparentes et objectives sur les questions liées à la durabilité, communiquées de manière pédagogique. Cela traduit une approche de la gouvernance dans laquelle les pouvoirs publics tirent parti de leur capacité à représenter la ville grâce à la production et au traitement de données, sensibilisant ainsi les citoyens et les engageant dans la réalisation de politiques urbaines préexistantes. D'autre part, le jumeau se positionne également comme un outil permettant de renforcer l'autorité du secteur public dans la gouvernance urbaine, en rééquilibrant les rapports de force avec les acteurs du secteur privé.

À Munich, la conception du jumeau numérique comme une plateforme centrale reflète la conviction que les défis futurs exigent une gouvernance intégrée grâce à des efforts collectifs, soulignant la promesse épistémique mentionnée ci-dessus d'une vision plus holistique et intégrée de la ville. Ainsi, le jumeau vise en tout premier lieu à changer le mode de fonctionnement de l'administration et à résoudre les problèmes de collaboration interne.

Dans les trois cas, une vision commune de la gouvernance désirable émerge, dans laquelle des administrations innovantes tirent parti des méthodes numériques, de la technologie et des données, soulevant des questions sur les processus décisionnels et la responsabilité démocratique. Alors que dans les cas de Boston et de Namur, les administrations semblent s'appuyer davantage sur les solutions fournies par les éditeurs privés de logiciels, l'administration de Munich s'efforce de conserver autant que possible ses compétences en interne. Il est intéressant de noter qu'à Namur, une conception particulière de la souveraineté fait surface parce qu'il est censé leur fournir des faits objectifs visibles, les autorités publiques namuroises espèrent que le jumeau numérique rendra la gouvernance plus transparente et renforcera leur pouvoir dans leurs relations avec les acteurs privés, en particulier les promoteurs immobiliers. L'irruption d'un projet de jumeau numérique au sein des pratiques de gouvernance des autorités locales a donc des implications sur la manière dont les administrations envisagent leur propre rôle et gèrent leurs relations avec les acteurs du

secteur privé et le public. Cela va de pair avec le rôle imaginé d'une administration forte, capable de poursuivre des approches innovantes sous la houlette du secteur public lui-même.

D. Conclusion intermédiaire

Les trois études de cas offrent à voir trois projets de jumeaux numériques développés dans trois villes différentes avec des objectifs, des éléments représentés et des manières de concevoir la gouvernance à chaque fois spécifiques. Cependant, plutôt que de se contenter de montrer que différents jumeaux numériques sont produits dans différentes villes, la perspective comparative et coproductionniste adoptée met en évidence un point commun entre les différents cas (Jasanoff, 2004 ; Joly, 2015) l'interaction dynamique entre la représentation de la ville et la gouvernance, toutes deux profondément ancrées dans des contextes socio-techniques locaux plus larges. En comparant les trois villes, nous comprenons mieux comment et pourquoi les acteurs donnent une signification locale à chaque projet de jumeau numérique, cadrant ainsi les problèmes, créant des opportunités et rassemblant les acteurs sous le concept de jumeau numérique de manière spécifique. À travers ces observations empiriques, les jumeaux numériques urbains apparaissent non seulement comme des objets techniques visant à optimiser la gouvernance urbaine, mais aussi comme des artefacts socio-techniques qui reconfigurent plus largement la manière dont la gouvernance urbaine est conçue et mise en œuvre (voir également Macq *et al.*, 2025). Ils ont des effets qui sont à la fois épistémiques et institutionnels les connaissances qu'ils construisent deviennent une ressource normative pour la gouvernance, et les rôles et responsabilités entre les acteurs publics, privés, et les citoyens s'en trouvent redéfinis. Cette analyse souligne donc les implications plus larges pour la démocratie et la politique. La création et l'utilisation d'un jumeau numérique mettent sélectivement en évidence certains problèmes publics, influencent l'inclusion ou l'exclusion de certains acteurs et la conception des politiques urbaines.

Ces dynamiques invitent à examiner de manière critique quels intérêts, valeurs et visions d'une société désirable et quelles décisions politiques sont intégrés dans les jumeaux numériques, et quelles perspectives alternatives sont marginalisées. En

effet, les modalités concrètes de cette redéfinition des rôles et des responsabilités entre les différents acteurs qui participent à la gouvernance urbaine restent encore largement à étudier, tant les analyses empiriques manquent. Plus particulièrement, la promesse fréquemment adossée aux jumeaux numériques urbains de produire des citoyens mieux informés, une gouvernance plus participative, et des espaces d'ouverture des problèmes et débats publics doit être examinée de manière critique. Les jumeaux numériques reproduisent-ils un « modèle déficitaire », selon lequel les citoyens devraient simplement être mieux informés sans qu'une participation plus active à la gouvernance urbaine leur soit proposée ? Des ouvertures « par le bas » des enjeux de gouvernance urbaine sont-elles permises par les jumeaux numériques ? Pour prendre ces questions à bras le corps, et produire une analyse fine de la manière dont les jumeaux numériques transforment effectivement (ou non) la gouvernance urbaine, je propose d'ouvrir un agenda de recherche autour de la question du « constitutionalisme numérique ».

III. VERS UN AGENDA DE RECHERCHE EN TERMES DE CONSTITUTIONNALISME NUMÉRIQUE

Afin de suggérer des pistes de recherches futures qui permettent de se saisir de ces questions, cette section esquisse les contours d'une approche en termes de constitutionnalisme numérique afin de saisir les potentielles transformations des modes de gouvernance urbaine dont les jumeaux numériques pourraient être le nom.

Suivant la littérature existante, deux hypothèses, en tension l'une avec l'autre, peuvent être faites. La première hypothèse est que l'influence des jumeaux numériques urbains sur la gouvernance est similaire à celle d'autres technologies de *big data* utilisées pour gouverner les villes (par exemple, les réseaux électriques intelligents ou les applications de mobilité, (Blok *et al.*, 2017 ; Bulkeley *et al.*, 2016) en ce sens qu'elles conduisent souvent au renforcement des asymétries de pouvoir existantes, des modes de gouvernance technocratiques, des mécanismes d'exclusion ainsi qu'à la privatisation croissante de la gouvernance urbaine par l'utilisation de plateformes et de logiciels (Blok *et al.*, 2017 ; Hepp *et al.*, 2022 ; Kitchin et Lauriault, 2018 ;

Sadowski, 2021). En pratique, la gouvernance par le biais des jumeaux numériques urbains inclurait rarement des acteurs autres que les acteurs traditionnellement autorisés (décideurs politiques, planificateurs), risquant ainsi de laisser les citoyens en marge d'une telle gouvernance. La deuxième hypothèse est que les jumeaux numériques urbains peuvent, dans certaines configurations, transformer la gouvernance de manière à favoriser la participation publique (Dawkins et Kitchin, 2025). Par exemple, les jumeaux numériques peuvent fournir une plateforme permettant aux citoyens d'exprimer des opinions divergentes ou d'utiliser des données ouvertes pour développer leurs propres représentations numériques de la ville afin de contester la formulation des problèmes publics, de mettre en lumière des problèmes qui sont restés invisibles et de proposer des solutions (alternatives). Ces formes de participation peuvent, à leur tour, conduire à des changements de politique publique (par exemple, refuser des permis de construire en raison d'ombres solaires prévues, adapter les plans de mobilité aux demandes des résidents ou surveiller la qualité de l'air après que les citoyens ont identifié un problème de pollution sur le jumeau numérique). La tension productive entre ces deux hypothèses conduit à reconnaître que le développement et l'utilisation des jumeaux numériques urbains rendent incertaine l'action des différentes entités en jeu et mettent à l'épreuve l'existence, la force ou la légitimité de ces entités. Ces deux hypothèses doivent dès lors être explorées conjointement en reconnaissant les risques d'aggravation des asymétries de pouvoir et des mécanismes d'exclusion, tout en reconnaissant que l'action des entités agissantes dans la gouvernance urbaine est un objet d'investigation empirique.

Pour tester ces deux hypothèses, il me semblerait fécond d'adopter une approche théorique originale en termes de « constitutionnalisme », telle qu'elle a été développée par les STS (Jasanoff, 2011a ; Laurent, 2017). Dans cette perspective, ce qui est « constitutionnel » désigne les cadres fondamentaux dans lesquels les sociétés décident collectivement de ce qui compte comme du savoir fiable, quelles institutions ont autorité pour le produire, et comment les innovations scientifiques et techniques s'intègrent dans l'ordre politique. Cette conception du constitutionnalisme est complémentaire à l'approche théorique de la co-

production, présentée ci-dessus et qui réarticule les questions fondamentales de la théorie politique (par exemple, qu'est-ce qu'un bon citoyen, une bonne procédure, une bonne représentation, une bonne institution ou un bon résultat) en termes constructivistes, en examinant empiriquement comment la technologie contribue à façonner la signification de ces éléments politiques (Simmet, 2024). Partant d'une approche co-productionniste, cette perspective élargit délibérément les conceptions traditionnelles du constitutionnalisme au-delà des textes juridiques, pour inclure tous les lieux et processus à travers lesquels les individus redéfinissent leurs relations avec les institutions qui les gouvernent (Hurlbut *et al.*, 2020 ; Jasanoff, 2011a, 2011b ; Laurent, 2024 ; Macq, Parotte, *et al.*, 2025). Cette perspective permet donc de concevoir que ce qui est « constitutionnel » ne renvoie donc pas seulement au droit ou à une constitution politique formelle, mais à tout ce qui structure en profondeur les relations entre les sciences, les technologies, et un ordre politique.

Je pense dès lors qu'il serait productif d'utiliser les jumeaux numériques urbains comme point d'entrée empirique pour développer la notion de « constitutionnalisme numérique ». En effet, les jumeaux numériques ne sont pas seulement des outils de simulation ou de planification urbanistique. Ils posent des questions fondamentales sur qui détient le savoir et les capacités de le produire, qui décide, et quelles valeurs organisent la gouvernance urbaine. Les enjeux qu'ils soulèvent en matière de gouvernance urbaine ne sont donc pas seulement techniques ou réglementaires, mais ils touchent aux fondements de ce qui peut et doit compter comme une gouvernance urbaine démocratique. Une analyse en termes de constitutionnalisme numérique permettra en fin de compte de considérer et d'analyser les plateformes numériques et les pratiques visuelles et institutionnelles qui s'y rapportent en tant que procédures qui constituent une ville et son ordre politique, y compris les problèmes, les publics et les institutions considérés comme légitimes. Vu à travers un tel cadre théorique, ce qui constitue la gouvernance urbaine à l'ère numérique n'est pas une donnée, mais une question empirique. En matière d'enquête, une telle approche reposerait sur des analyses qualitatives et comparées de différentes études de cas et permettrait d'analyser différentes dimensions :

1. Les enjeux d'autorité et de légitimation du savoir, en se demandant qui contrôle et maîtrise le jumeau numérique (par exemple, les municipalités, des entreprises privées, des consortiums publics-privés ou des groupes citoyens), et en décryptant les types de savoir qui sont des sources plus ou moins influentes de légitimité des choix en matière de gouvernance urbaine ;
2. Les modes de représentation du réel, en questionnant la manière dont ce qui compte comme « réalité urbaine » est reconfiguré à travers la modélisation des villes en données, et en décrivant précisément ce qui est concrètement mesuré et devient donc gouvernable, ainsi que ce qui échappe à la mise en données et risque donc d'être invisibilisé ;
3. Les principes et pratiques de gouvernance urbaine valorisés, en questionnant les modes de délibération publique et de prise de décision à l'œuvre lors de l'utilisation de jumeaux numériques à des fins de gouvernance (par exemple, des procédures plus ou moins participatives, plus ou moins déléguées à des algorithmes, etc.) ;
4. La durabilité des arrangements institutionnels, en questionnant dans quelle mesure les jumeaux numériques s'installent comme infrastructure de gouvernance durable, s'ils sont effectivement générateurs d'une nouvelle manière d'articuler la science, la technologie et la politique urbaine, ou s'ils se situent en marge d'autres pratiques et infrastructures.

CONCLUSION

Cet article a montré en quoi il était crucial de considérer les jumeaux numériques urbains comme des objets socio-techniques. De plus, développant une analyse co-productionniste de trois cas d'étude, il a mis en évidence les enjeux que les jumeaux numériques soulèvent en termes politiques et démocratiques. Partant de là, il a ouvert un agenda de recherche centré autour de la notion de « constitutionnalisme numérique » pour entreprendre de saisir la reconfiguration des modes de gouvernance urbaine engendrée par le développement et l'utilisation de ces objets.

Cet article poursuivait trois objectifs principaux. Dans un premier temps, il s'agissait de montrer

pourquoi et comment les jumeaux numériques urbains pouvaient être conçus et analysés comme des objets socio-techniques. En effet, les jumeaux numériques impliquent des interactions constantes et évolutives dans le temps entre des entités techniques (e.g., capteurs, bases de données, plateformes de visualisation) et sociales (e.g., acteurs humains, institutions, budgets, valeurs). Ils brouillent ainsi les frontières entre ces deux catégories. Le développement et l'utilisation de technologies de jumeaux numériques ainsi que le contexte politique, économique et social dans lequel les jumeaux sont développés et utilisés ne peuvent pas se comprendre indépendamment l'un de l'autre ils s'influencent mutuellement. C'est ce que nous enjoins à analyser l'approche en termes de « co-production », issue des STS le processus de création d'un jumeau ainsi que son utilisation sont influencés par des choix et des pratiques d'acteurs humains, eux-mêmes influencés par des conceptions plus larges de ce qu'est un « bon » jumeau numérique, une « bonne » gouvernance urbaine, ainsi que par un ensemble de contraintes techniques avec lesquelles ils doivent composer (e.g., disponibilité des données, capacité à les mettre à jour, architecture des bases de données, etc.).

Dans un deuxième temps, il s'est agi de montrer comment les jumeaux numériques urbains s'inscrivent dans la dynamique plus large de mise en données des villes, en revenant sur une analyse co-productionniste comparée de trois projets de jumeaux numériques dans trois villes. Cette analyse a montré comment des promesses en termes de représentation de la ville et des conceptions d'une gouvernance urbaine désirable sont inscrites dans la conception même des jumeaux numériques urbains. De plus, ces derniers font à leur tour émerger de nouvelles visions et approches de la gouvernance. Il résulte de cette analyse que les jumeaux numériques urbains ont des effets importants sur la manière dont la gouvernance urbaine est conçue et mise en œuvre. En effet, les jumeaux numériques urbains ont des effets qui sont à la fois épistémiques et institutionnels ils produisent des connaissances spécifiques sur la ville et deviennent une ressource normative pour la gouvernance et peuvent conduire à une redéfinition des rapports de force à l'intérieur de l'écosystème de gouvernance, notamment entre acteurs publics, privés, et citoyens. Ce faisant, les jumeaux numériques ont des implications

plus larges pour la démocratie et la politique. En effet, la création et l'utilisation d'un jumeau numérique mettent sélectivement en évidence certains problèmes publics, influencent l'inclusion ou l'exclusion de certains acteurs et la conception des politiques urbaines.

Dans un troisième temps, en s'appuyant sur les résultats de cette analyse, il s'est agi de tracer des pistes de recherches futures. En effet, les modalités concrètes de la redéfinition des rapports de force, des rôles et responsabilités des différents acteurs, et de la possibilité de l'émergence d'une gouvernance urbaine plus participative, restent encore largement à étudier. Des enquêtes comme celle présentée dans cet article doivent être reproduites et gagneraient à envisager les jumeaux numériques urbains comme des objets qui participent à ce que j'ai appelé le « constitutionnalisme numérique ». Une telle perspective conduirait à envisager les jumeaux numériques non pas seulement comme des outils de représentation, de simulation et/ou de planification urbaine, mais comme des objets qui réarticulent les questions fondamentales de la politique urbaine qui détient le savoir et les capacités de le produire ? Qui décide de quoi ? Quelles valeurs organisent la gouvernance urbaine ? Les enjeux qu'ils soulèvent touchent donc aux fondements de ce qui peut et doit compter comme une « bonne » gouvernance urbaine, et doivent faire l'objet d'une attention empirique particulière. En effet, à travers une approche en termes de constitutionnalisme numérique, ce qui constitue la gouvernance urbaine à l'ère de la mise en données de villes n'est précisément par une donnée, mais une question empirique dont il convient de poursuivre l'exploration.

NOTE

¹ Le matériau empirique qui compose cette section est tiré d'une enquête collective, menée avec Sophia Knopf et Alexander Wentland (TUMunich).

BIBLIOGRAPHIE

- Alzola, N. V. (2024). Bottom-up urban datafication via digital platforms: A toolkit for hybrid ethnographers. *Netcom. Réseaux, communication et territoires*. <https://journals.openedition.org/netcom/9138>
- Amoore, L. (2025). Because the twin is not a copy: On the politics of digital twins. *New Media & Society*, 27(8), 4549–4564. <https://doi.org/10.1177/14614448251338284>
- Batty, M. (2018). Digital twins. *Environment and Planning B: Urban Analytics and City Science*, 45(5), 817–820. <https://doi.org/10.1177/2399808318796416>
- Blok, A., Marquet, C., Courmont, A., Minor, K., Young, M., Hoyng, R., & Nold, C. (2017). Data Platforms and Cities. *TECNOSCIENZA: Italian Journal of Science & Technology Studies*, 8(2), 175–219.
- Bowker, G. C., & Star, S. L. (1999). *Sorting things out: Classification and its consequences*. MIT Press.
- Bulkeley, H., McGuirk, P. M., & Dowling, R. (2016). Making a smart city for the smart grid? The urban material politics of actualising smart electricity networks. *Environment and Planning A: Economy and Space*, 48(9), 1709–1726. <https://doi.org/10.1177/0308518X16648152>
- Charmaz, K. (2006). *Constructing grounded theory*. Sage Publications.
- Dawkins, O., & Kitchin, R. (2025). Urban digital twins: Digital twins for participatory steering. *New Media & Society*, 27(8), 4402–4419. <https://doi.org/10.1177/14614448251338280>
- Dijk, J. van. (2014). Datafication, dataism and dataveillance: Big Data between scientific paradigm and ideology. *Surveillance & Society*, 12(2), 197–208. <https://doi.org/10.24908/ss.v12i2.4776>
- Grieves, M., & Vickers, J. (2017). Digital Twin: Mitigating Unpredictable, Undesirable Emergent Behavior in Complex Systems. In F.J. Kahlen, S. Flumerfelt, & A. Alves (Eds.), *Transdisciplinary Perspectives on Complex Systems* (pp. 85–113). Springer, Cham.
- Hepp, A., Jarke, J., & Kramp, L. (2022). *New Perspectives in Critical Data Studies: The Ambivalences of Data Power*. Springer International Publishing. <https://doi.org/10.1007/978-3-030-96180-0>
- Hurlbut, J. B., Metzler, I., Marelli, L., & Jasanoff, S. (2020). Bioconstitutional Imaginaries and the Comparative Politics of Genetic Self-knowledge. *Science, Technology, & Human Values*, 45(6), 1087–1118. <https://doi.org/10.1177/0162243920921246>
- Jasanoff, S. (Ed.). (2004). *States of Knowledge: The Co-Production of Science and the Social Order*. Routledge.
- Jasanoff, S. (2007). *Designs on nature: Science and democracy in Europe and the United States*. Princeton Univ. Press.
- Jasanoff, S. (2011a). Constitutional moments in governing science and technology. *Science and Engineering Ethics*, 17(4), 621–638.
- Jasanoff, S. (2011b). *Reframing Rights: Bioconstitutionalism in the Genetic Age*. The MIT Press.
- Jasanoff, S. (2017). Virtual, visible, and actionable: Data assemblages and the sightlines of justice. *Big Data & Society*, 4(2), 205395171772447. <https://doi.org/10.1177/2053951717724477>

- Jeddoub, I., Nys, G.-A., Hajji, R., & Billen, R. (2023). Digital Twins for cities: Analyzing the gap between concepts and current implementations with a specific focus on data integration. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, 122, 103440. <https://doi.org/10.1016/j.jag.2023.103440>
- Karvonen, A., Cook, M., & Haarstad, H. (2020). Urban Planning and the Smart City: Projects, Practices and Politics. *Urban Planning*, 5(1), Article 1. <https://doi.org/10.17645/up.v5i1.2936>
- Kitchin, R., & Dawkins, O. (2025). Digital twins and deep maps. *Transactions of the Institute of British Geographers*, 50(1), e12699. <https://doi.org/10.1111/tran.12699>
- Kitchin, R., & Lauriault, T. P. (2018). Toward Critical Data Studies: Charting and Unpacking Data Assemblages and Their Work. In J. Thatcher, J. Eckert, & A. Shears (Eds.), *Thinking Big Data in Geography: New Regimes, New Research* (pp. 3–20). University of Nebraska Press. <https://doi.org/10.2307/j.ctt21h4z6m>
- Knopf, S., Macq, H., & Wentland, A. (2025). Urban futures in the mirror of technology? The politics of urban digital twins. *New Media & Society*, 27(8), 4385–4401. <https://doi.org/10.1177/14614448251338297>
- Korenhof, P., Blok, V., & Kloppenburg, S. (2021). Steering Representations—Towards a Critical Understanding of Digital Twins. *Philosophy & Technology*. <https://doi.org/10.1007/s13347-021-00484-1>
- Kritzinger, W., Karner, M., Traar, G., Henjes, J., & Sihm, W. (2018). Digital Twin in manufacturing: A categorical literature review and classification. *IFAC-PapersOnLine*, 51(11), 1016–1022. <https://doi.org/10.1016/j.ifacol.2018.08.474>
- Laurent, B. (2017). *Democratic Experiments: Problematizing Nanotechnology and Democracy in Europe and the United States*. MIT Press.
- Laurent, B. (2024). Latour and the Question of Politics: A Constitutional Reading. *Theory, Culture & Society*, 41(5), 23–44. <https://doi.org/10.1177/02632764241275466>
- Lei, B., Stouffs, R., & Biljecki, F. (2023). Assessing and benchmarking 3D city models. *International Journal of Geographical Information Science*, 37(4), 788–809. <https://doi.org/10.1080/13658816.2022.2140808>
- Macq, H., Jeddoub, I., & Billen, R. (2025). Beyond Twinness and Twinning: Reflections on Urban Digital Twinning from the Namur 3D Project. *The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, XLVIII-4/W16-2025, 51–58. <https://doi.org/10.5194/isprs-archives-XLVIII-4-W16-2025-51-2025>
- Macq, H., Parotte, C., & Delvenne, P. (2025). Harnessing the value of human bodily material: A bioconstitutional analysis. *BioSocieties*, 20(1), 125–148. <https://doi.org/10.1057/s41292-024-00327-0>
- Meijer, A. (2018). Datapolis: A Public Governance Perspective on “Smart Cities.” *Perspectives on Public Management and Governance*, 1(3), 195–206. <https://doi.org/10.1093/ppmgov/gvx017>
- Nochta, T., Wan, L., Schooling, J. M., & Parlikad, A. K. (2021). A Socio-Technical Perspective on Urban Analytics: The Case of City-Scale Digital Twins. *Journal of Urban Technology*, 28(1–2), 263–287. <https://doi.org/10.1080/10630732.2020.1798177>
- Przebylłowicz, E., & Cunha, M. A. (2024). Governing in the digital age: The emergence of dynamic smart urban governance modes. *Government Information Quarterly*, 41(1), 101907. <https://doi.org/10.1016/j.giq.2023.101907>
- Rose, G. (2025). Visualising human life in volumetric cities: City digital twins and other disasters. *Dialogues in Urban Research*, 3(2), 148–169. <https://doi.org/10.1177/27541258241288812>
- Sadowski, J. (2021). Who owns the future city? Phases of technological urbanism and shifts in sovereignty. *Urban Studies*, 58(8), 1732–1744. <https://doi.org/10.1177/0042098020913427>
- Scott, J. C. (1998). *Seeing like a state: How certain schemes to improve the human condition have failed*. Yale University Press.
- Simmet, H. R. (2024). Making citizens, procedures, and outcomes: Theorizing politics in a co-productionist idiom. *Social Studies of Science*, 55(2), 153–177. <https://doi.org/10.1177/03063127241269804>
- Sismondo, S. (2010). *An Introduction to Science and Technology Studies* (Second Edition). John Wiley & Sons.
- Solman, H., Kirkegaard, J. K., Smits, M., Van Vliet, B., & Bush, S. (2022). Digital twinning as an act of governance in the wind energy sector. *Environmental Science & Policy*, 127, 272–279. <https://doi.org/10.1016/j.envsci.2021.10.027>
- Tomko, M., & Winter, S. (2019). Beyond digital twins – A commentary. *Environment and Planning B: Urban Analytics and City Science*, 46(2), 395–399. <https://doi.org/10.1177/2399808318816992>
- Westerlaken, M. (2024). Digital twins and the digital logics of biodiversity. *Social Studies of Science*, 03063127241236809. <https://doi.org/10.1177/03063127241236809>

Coordonnées de l'auteur :

Hadrien MACQ
 Sciences politiques et sociales – Science and
 Technology Studies
 Université de Liège
hadrien.macq@uliege.be