

Les jumeaux numériques urbains : Un nouvel outil pour l'urbanisme et l'aménagement ?

Dans la mouvance des villes intelligentes, émerge depuis peu le concept de jumeau numérique appliqué au milieu urbain. Plusieurs villes à travers le monde adoptent cette approche et des programmations spécifiques voient le jour notamment au niveau européen. Mais qu'entend-on par jumeau numérique urbain ? Quels rôles peuvent-ils jouer en urbanisme et aménagement ? Au-delà des concepts, où en est-on concrètement ?

La théorie

De manière générale, un jumeau numérique est une représentation virtuelle dynamique d'un objet ou d'un système qui reflète cet objet ou ce système. Il couvre tout son cycle de vie, est mis à jour à partir de données en temps réel et fait appel à des techniques de simulation, d'apprentissage automatique et de raisonnement pour faciliter la prise de décision (Figure 1).

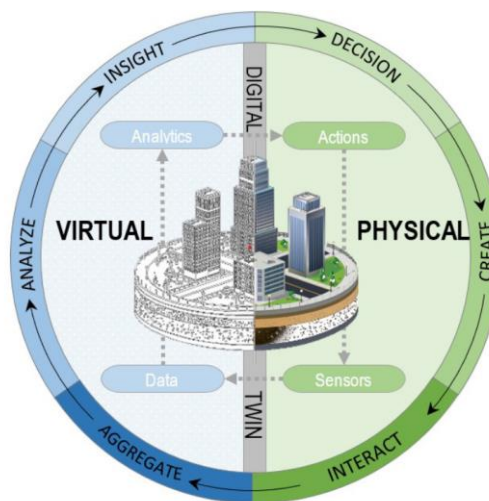


Figure 1. Concept du jumeau numérique urbain (Petrova-Antonova and Ilieva, 2019)

L'application de ce concept au milieu urbain doit prendre en compte la complexité et la multiplicité de ce milieu. Dans ce cas, le jumeau numérique urbain porte sur un système de systèmes, qui doit pouvoir intégrer des réalités diverses (infrastructures, environnement, transport, etc.) (Figure 2). C'est donc bien plus qu'une simple maquette 3D, c'est une représentation géométrique et sémantique cohérente incluant la capacité d'intégrer de multiples systèmes qui communiquent entre eux tout en permettant des interactions à partir et vers sa contrepartie réelle. Le jumeau reflète les caractéristiques physiques et fonctionnelles de la ville grâce à des données statiques (comme les bâtiments, les routes, les réseaux d'infrastructure) et dynamiques (comme les flux de circulation, la qualité de l'air, ou encore les données socio-économiques). Il doit offrir des capacités de traitements des données (modélisation, simulation) et de visualisation (2D, 3D, réalité virtuelle, réalité mixte).

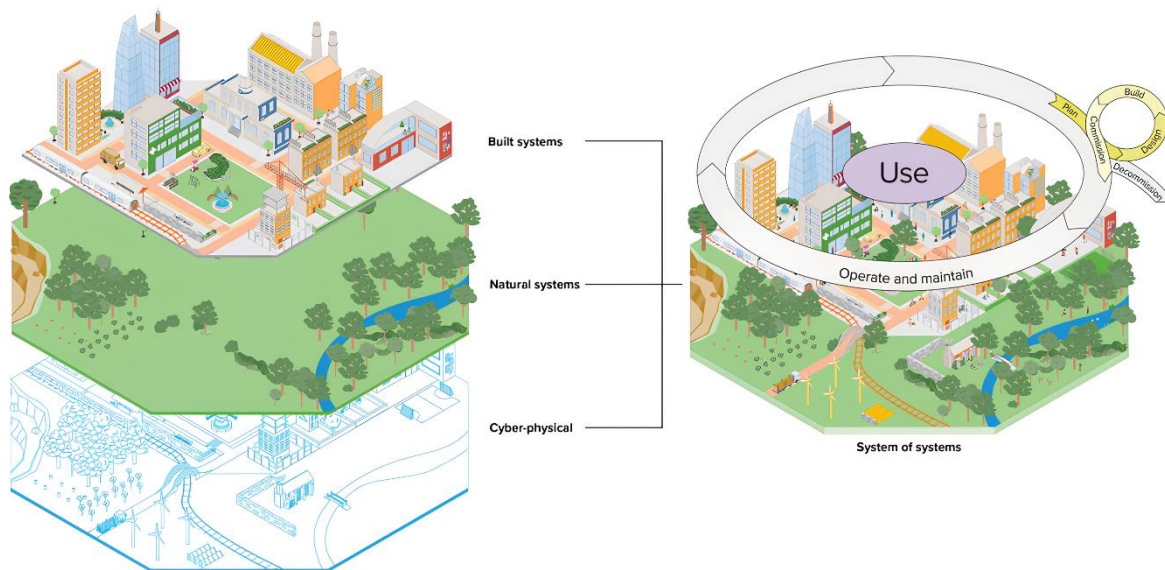


Figure 2. Digital Twin: un système de systèmes (Mark Enzer, Centre for Digital Built Britain, 2022)

On peut le concevoir comme une plateforme intégrative des données (SIG, BIM, CAD, IoT, etc.), présentant de multiples tableaux de bord portant sur les diverses thématiques (environnementales, sociales, économiques, etc.) pour l'étude, le suivi, la simulation et la prédiction. Basé sur un paradigme collaboratif axé sur les données, il doit permettre d'aider à la gestion et à l'aménagement urbain de manière adaptée en fonction des acteurs (experts, décideurs, citoyens), leur permettant de suivre l'évolution de la ville, dans certains cas en quasi-temps réel, ou de tester des scénarios avant de les mettre en place dans le monde réel.

La pratique

De la théorie à la pratique, il y a souvent un grand pas à franchir. S'il y a eu beaucoup d'effets d'annonce au début de l'adoption du concept de jumeaux numériques urbains, on peut constater à l'heure actuelle de très intéressantes initiatives qui tendent à répondre aux attentes des utilisateurs.

Citons deux d'entre elles : le projet PLATEAU au Japon qui développe des jumeaux numériques des grandes villes japonaises et le jumeau numérique ville d'Helsinki qui est pionnière notamment dans l'ouverture à de nouveaux développements (Figure 3), par exemple le crowdsourcing de données sociales et qualitatives (Urbanage project).

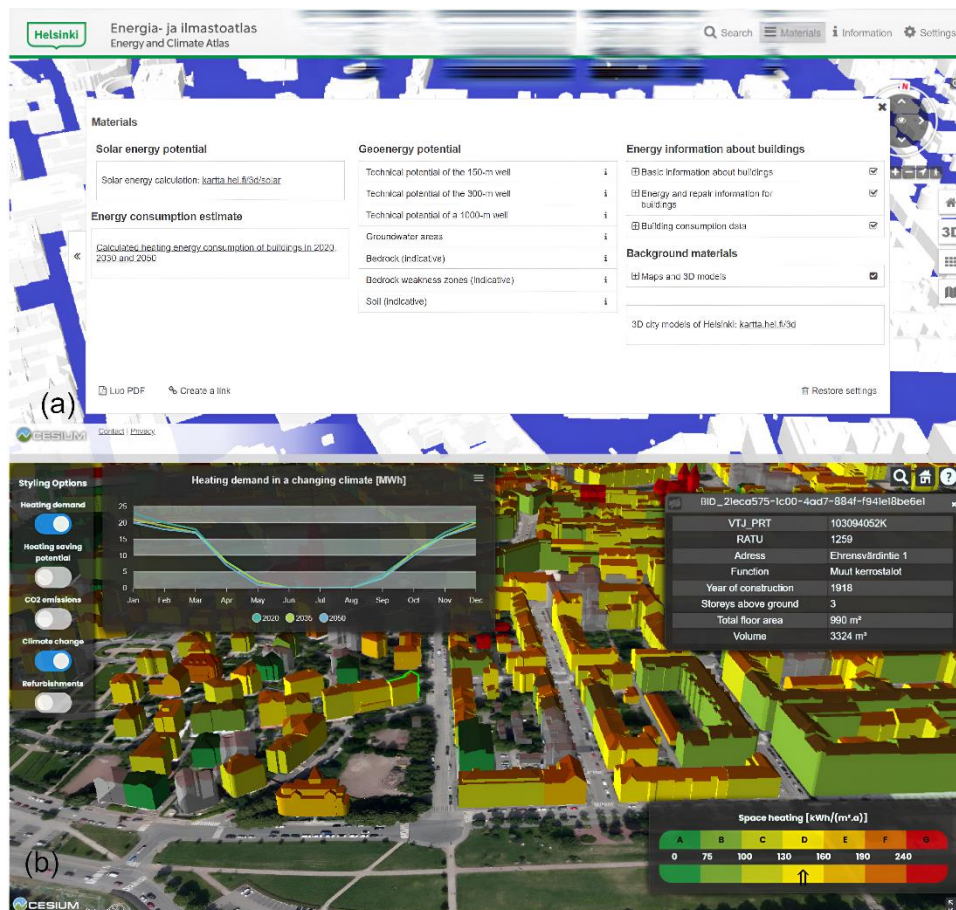


Figure 3. Helsinki City Digital Twin : (a) Atlas énergétique et climatique d'Helsinki et (b) Modèle de données pour l'estimation de la consommation d'énergie (<https://kartta.hel.fi/3d/atlas/#/legend>)

Au niveau belge, l'un des grands défis est certainement de se doter d'une stratégie s'inscrivant dans les initiatives internationales afin d'encadrer le développement et l'utilisation des jumeaux numériques. Bien que chaque ville ait ses particularités, le principe sous-jacent reste le même : modéliser l'environnement urbain en utilisant des données numériques pour mieux comprendre, planifier et gérer. Le partage de connaissances et d'outils peut donc bénéficier à tous, surtout sur un territoire qui est somme toute relativement homogène.

À cet égard, l'initiative **DUET** (Digital Urban European Twins) est un bon exemple de cette démarche. Ce projet vise à créer des jumeaux numériques pour améliorer la prise de décision en matière d'urbanisme et de gouvernance publique dans plusieurs villes européennes, dont des communes belges.

Précisons que les défis qui se posent ne sont pas exclusivement technologiques, mais aussi économiques, réglementaires et organisationnels. À cet égard, le paradigme collaboratif du jumelage numérique urbain impose un décloisonnement des domaines thématiques traditionnellement organisés en silos (urbanisme, transport, environnement, infrastructure, énergie, etc.), ce qui est loin d'être une évidence au sein des organisations concernées.

GeoScITY Lab

Le Geospatial Data Science and City Information modeling Lab (**GeoScITY**) de l'Université de Liège mène des recherches et des développements innovants dans le domaine des jumeaux numériques

depuis de nombreuses années. Parmi ceux-ci, **SEM3D** et **City2Twin** offrent des résultats directement opérationnels dans la perspective de développement de jumeaux numériques urbains.

Dans le projet **SEM3D**, en partenariat avec la ville de Liège et financé par le programme Tremplin IA Digital Wallonia, nous avons mis en place une chaîne de production automatique de données 3D alimentant le cœur des jumeaux numériques urbains. À partir de données mises à disposition par la Région wallonne (nuages de points Lidar, images aériennes, données vectorielles du PICC) nous proposons une classification automatique au travers de techniques d'IA d'apprentissage profond. Sur base de cette classification, nous proposons une reconstruction automatique d'objets 3D modélisés dans le format CityJSON ou dans le format CityGML, tous deux exploitables dans des jumeaux numériques (Figure 4).

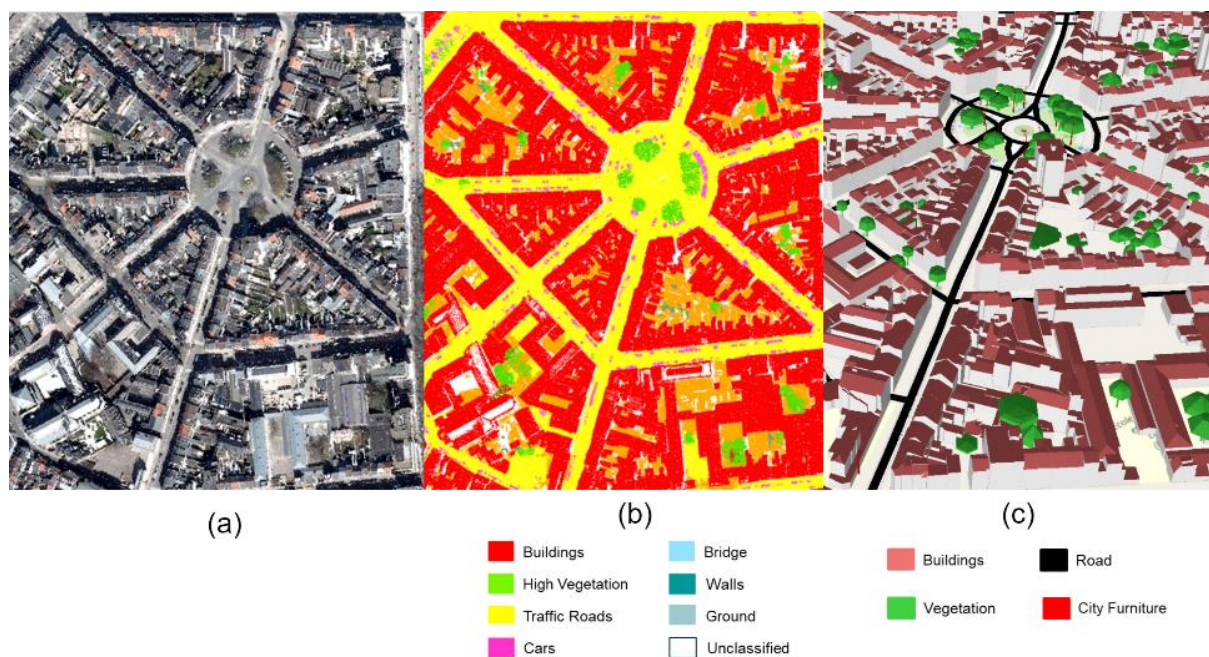


Figure 4. SEM 3D : (a) nuage de points 3D colorisés, (b) nuage de points classifiés, (c) modèle 3D urbain du quartier d'Outremeuse.

Nous développons également la plateforme City2Twin, architecture web conçue comme base de jumeau numérique, connectable à diverses bases de données (Figure 5). Elle permet la gestion des données statiques et dynamiques et peut être couplée à diverses applications de simulations ou de traitements applicatifs. Un démonstrateur reprenant les données de SEM 3D et de données de capteurs de pollution mises à disposition par l'ISSEP nous permet d'illustrer nos réalisations. City2Twin se positionne comme une solution innovante et ouverte pour une gestion urbaine intelligente et adaptative.

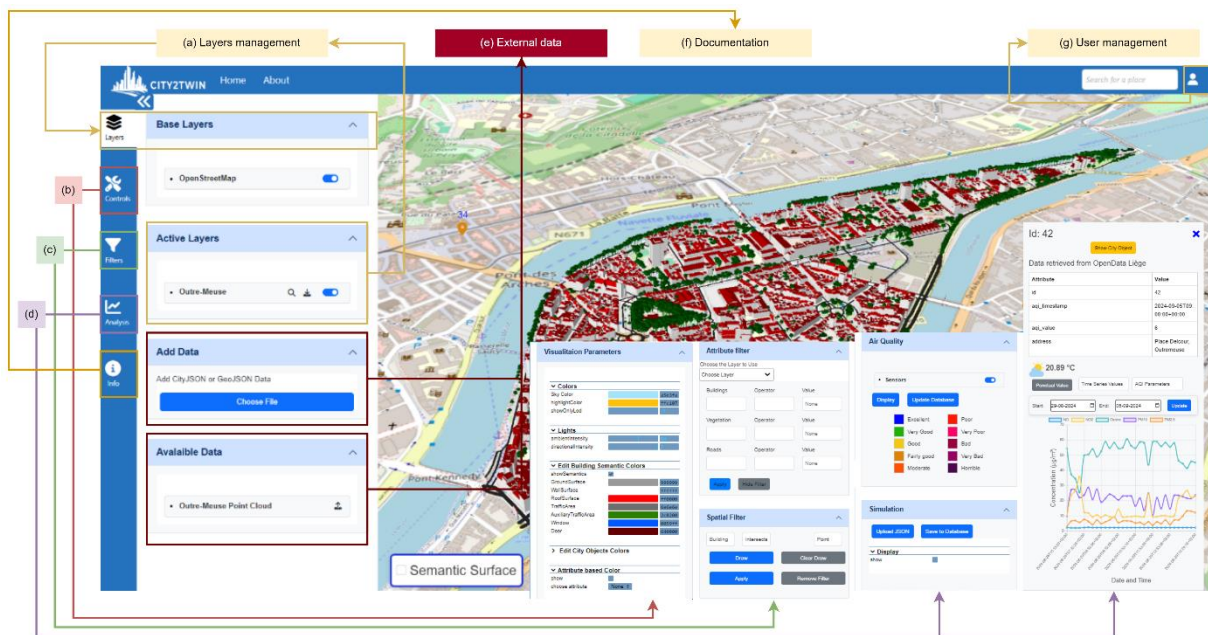


Figure 5. Une vue de CITY2TWIN : (a) gestion des couches, (b) panneau de contrôle, (c) filtres attributaires et spatiaux, (d) analyses urbaines (panneau dynamique et simulation), (e) importation de données externes, (f) documentation, (g) gestion des utilisateurs.

Conclusion

À terme, les jumeaux numériques urbains doivent nous permettre de mieux comprendre la complexité des villes modernes en réunissant des données éparées et en croisant les analyses traditionnellement réalisées en silos, permettant d'aborder les problèmes urbains de manière plus holistique. Si ces technologies se développent progressivement à travers le monde, elles nécessitent néanmoins une coordination et une volonté à plusieurs niveaux — local, régional, national et international — pour en exploiter tout le potentiel. Leur adoption implique un changement de paradigme profond dans la gestion de l'interaction entre les systèmes au sein des villes. Entre autres professions, géographes, urbanistes et aménageurs ont un rôle actif à jouer dans ces évolutions qui va au-delà de la simple utilisation des fonctionnalités offertes.

Légendes des images

Figure 1. Concept du jumeau numérique urbain (Petrova-Antonova and Ilieva, 2019)

Figure 2. Digital Twin: un système de systèmes (Mark Enzer, Centre for Digital Built Britain, 2022)

Figure 3. Helsinki City Digital Twin : (a) Atlas énergétique et climatique d'Helsinki et (b) Modèle de données pour l'estimation de la consommation d'énergie (<https://kartta.hel.fi/3d/atlas/#/legend>)

Figure 4. SEM 3D : (a) nuage de points 3D colorisés, (b) nuage de points classifiés, (c) modèle 3D urbain du quartier d'Outremeuse.

Figure 5. Une vue de CITY2TWIN : (a) gestion des couches, (b) panneau de contrôle, (c) filtres attributaires et spatiaux, (d) analyses urbaines (panneau dynamique et simulation), (e) importation de données externes, (f) documentation, (g) gestion des utilisateurs.

Plus d'informations

Webographie

www.geocity.uliege.be

<https://www.digitalurbantwins.com/>

<https://kartta.hel.fi/3d/atlas/#/legend>

<https://www.mlit.go.jp/plateau/>

https://www.geocity.uliege.be/cms/c_12742331/en/geocity-videos

Bibliographie

Jeddoub, Imane et al. "Digital Twins for cities: Analyzing the gap between concepts and current implementations with a specific focus on data integration." *Int. J. Appl. Earth Obs. Geoinformation* 122 (2023): 103440.

Ballouch, Z., Jeddoub, I., Hajji, R., Kasprzyk, J.-P., and Billen, R.: Towards a Digital Twin of Liege: The Core 3D Model based on Semantic Segmentation and Automated Modeling of LiDAR Point Clouds, *ISPRS Ann. Photogramm. Remote Sens. Spatial Inf. Sci.*, X-4/W4-2024, 13–20, <https://doi.org/10.5194/isprs-annals-X-4-W4-2024-13-2024>, 2024.

D. Petrova-Antonova and S. Ilieva, "Methodological Framework for Digital Transition and Performance Assessment of Smart Cities," *2019 4th International Conference on Smart and Sustainable Technologies (SpliTech)*, Split, Croatia, 2019, pp. 1-6, doi: 10.23919/SpliTech.2019.8783170.

Raes, L., Michiels, P., Adolphi, T., Tampere, C., Dalianis, T., Mcaleer, S., Kogut, P., 2021. DUET: A Framework for Building Interoperable and Trusted Digital Twins of Smart Cities. *IEEE Internet Comput* 1. <https://doi.org/10.1109/MIC.2021.3060962>.

Virtanen, J.-P., Alander, J., Ponto, H., Santala, V., Martijnse-Hartikka, R., Andra, A., and Sillander, T.: Contemporary development directions for urban digital twins, *Int. Arch. Photogramm. Remote Sens. Spatial Inf. Sci.*, XLVIII-4/W10-2024, 177–182, <https://doi.org/10.5194/isprs-archives-XLVIII-4-W10-2024-177-2024>, 2024.

Seto, T., Furuhashi, T., and Uchiyama, Y.: ROLE OF 3D CITY MODEL DATA AS OPEN DIGITAL COMMONS: A CASE STUDY OF OPENNESS IN JAPAN'S DIGITAL TWIN "PROJECT PLATEAU", *Int. Arch. Photogramm. Remote Sens. Spatial Inf. Sci.*, XLVIII-4/W7-2023, 201–208, <https://doi.org/10.5194/isprs-archives-XLVIII-4-W7-2023-201-2023>, 2023.

Coordonnées de l'auteur

GeoScITY, UR SPHERES, Université de Liège, Liège, Belgique

rillen@uliege.be, I.Jeddoub@uliege.be/ www.geoscience.uliege.be

Bât. B5A Geospatial Data Science and City Infor. Modelling (GeoScITY)

Quartier Agora

allée du six Août 19

4000 Liège 1

Belgique