



HAL
open science

Imaginaires et traditions des jumeaux numériques urbains

Jean-François Lucas

► **To cite this version:**

Jean-François Lucas. Imaginaires et traditions des jumeaux numériques urbains. Pierre Musso. La Renaissance Industrielle, Manucius, 2022, 978-2-84578-788-9. hal-03816032

HAL Id: hal-03816032

<https://hal.science/hal-03816032>

Submitted on 15 Oct 2022

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

LUCAS Jean-François

Sociologue (PhD), consultant et directeur expertise Territoires intelligents et numérique responsable chez Auxilia / Chronos. Chercheur associé au Laboratoire de sociologie urbaine (LaSUR), École polytechnique fédérale de Lausanne (EPFL)

Mail : lucas.jean.francois@gmail.com

Imaginaires et traditions des jumeaux numériques urbains

2022

Attention, ce texte est un document de travail / preprint

Il peut comporter des différences avec la version définitive du texte.

Merci de citer et de se référer à la version définitive :

LUCAS Jean-François, Imaginaires et traditions des jumeaux numériques urbains, in Pierre MUSSO (dir.), *La Renaissance Industrielle*, 2022, pp.70-80.

<p>Ce texte de travail est mis à disposition afin de faire connaître les travaux de Jean-François LUCAS. Les droits d'auteur de ce document demeurent aux auteurs des textes et/ou aux détenteurs des droits. Ce texte est destiné à une utilisation personnelle et non-marchande. Il ne peut être en aucun cas distribué et utilisé à des fins lucratives.</p>

Imaginaires et traditions des jumeaux numériques urbains

Jean-Francois LUCAS

Définition d'un jumeau numérique urbain

Un jumeau numérique (*digital twin* en anglais) est un modèle numérique dynamique d'un produit, d'un processus ou d'un système physique ou biologique, nourri par des données issues de ce même « objet » tout au long de son cycle de vie (*Product Life Management*).

Michael Grieves revendique l'origine de l'expression « jumeau numérique » dès 2002, quand d'autres considèrent que la notion n'apparaît qu'en 2005 dans l'industrie. Par ailleurs, d'aucuns voient les prémices des jumeaux numériques dans les années 60, lorsque la NASA évalue et simule les conditions à bord d'Apollo 13 en créant des systèmes physiquement dupliqués au niveau du sol pour correspondre aux systèmes dans l'espace, grâce l'utilisation de la « technologie de mise en miroir ».

Les jumeaux numériques permettent de concevoir des « objets » (véhicule, bâtiment, corps, etc.) et de simuler leurs comportements, d'optimiser des processus de production et les rendements (pilotage de lignes de production ou d'usines, optimisation de rendement énergétique, gestion du sol en agriculture...), de faire de la surveillance d'équipements, d'environnements, de la maintenance prédictive ou encore de la simulation de scénarii de crise (pics de pollution, incendies, inondations...). Du fait, notamment, de la production massive et exponentielle de données urbaines variées et en temps réel (Big Data) des jumeaux numériques d'environnements urbains, et notamment de villes, ont émergé : Singapour (2014), Helsinki (2015), Rennes (2017), Angers (2020), Sydney (2020), ...

Pour certains, la visualisation en trois dimensions (3D) est consubstantielle à la définition du jumeau numérique urbain. Pour d'autres, l'essence du jumeau numérique urbain réside dans sa base de données, issues de différentes applications informatiques et de divers sources (statistiques, cadastre, capteurs – internet des objets -, vidéos, gestion technique du bâtiment, etc.) ; celle-ci permettant ensuite la génération de différentes modélisations en 2D ou 3D par exemple¹. Les jumeaux numériques sont généralement classés en différentes catégories, niveaux ou degrés de maturité selon les options qu'ils proposent et les usages qu'ils autorisent :

¹. Précisons que la notion de « City Information Model » est souvent synonyme de celle du jumeau numérique, soit un « BIM » (Building Information Modeling / Method) à l'échelle d'une ville. Le BIM désigne une « méthode de travail basée sur une maquette numérique (modèle géométrique en trois dimensions auquel on adjoint une base de données numérique structurée du bâtiment) qui, une fois renseignée par les architectes, les ingénieurs ou encore les entreprises de BTP, permettra une interopérabilité entre ces différents acteurs » ; le « M » est utilisé à la fois pour désigner le « model » et le « management » (Manuel BIM, Théories et applications, Eyrolles, 2015).

capture des données du modèle de référence (niveau 1), modélisation en 3D (niveau 2), interopérabilité avec des données d'autres bases (niveau 3), etc.².

Souvent considéré comme « la réplique virtuelle d'un territoire réel tel qu'il fonctionne » (Banque des territoires, 2021, 12), le jumeau numérique urbain est présenté par ses promoteurs comme la solution incontournable pour piloter les politiques publiques, voire favoriser la transition écologique et énergétique. Or, le peu de retours d'expériences relatifs à ces expérimentations (*idem*) face aux investissements (financiers, techniques ou encore humains) qu'une telle solution demande, ainsi que le manque d'analyses de coûts bénéfiques doit interpeler les décideurs publics sur leur adoption et leur développement possible, autant que leurs promoteurs pour une conception et un usage plus responsables.

Dans ce chapitre, nous présentons quelques imaginaires³ propres aux jumeaux numériques urbains, ainsi que les traditions socio-techniques dont ils héritent afin de comprendre les croyances qui alimentent les discours les entourant. Sans renier certains arguments de ces solutions, qui soulignent notamment les qualités d'analyse, de prédiction, de compréhension ou encore d'aide à la prise de décision, cette lecture permet de mieux appréhender un certain nombre de discours qui s'apparentent souvent à des prédictions autoréalisatrices.

Pygmalion, Narcisse, la carte et le territoire

Les récits et les fictions qui nourrissent les discours et assertions des promoteurs des jumeaux numériques actualisent la croyance d'une ville pilotable, gérable et concevable grâce à un outil centralisé, dans la pure tradition des postes de contrôle apparus dès les années 1960 (Picon, 2013).

Le jumeau numérique est un « techno-imaginaire » (Balandier, 2001) puissant, car il cristallise de nombreux mythes fondateurs de l'innovation scientifique et technique qui lui confèrent une certaine « religiosité » (Simondon, 1958). Par exemple, le fait de nommer et de considérer ces solutions comme des « jumeaux », des « doubles » ou encore des « répliques », cultive l'utopie que la production de l'environnement numérique serait le reflet à l'identique d'un modèle physique et biologique : « nommer c'est en quelque sorte construire et immédiatement figer ce qui se met en place en voulant le donner comme réel » (Deruelle, 2008, 56). Or, qu'une carte soit produite sur un support papier ou numérique, en 2D ou en 3D, irriguée ou non de données numériques toujours plus nombreuses, hétérogènes et actualisées, confondre la carte et le territoire, faire d'un jumeau numérique le « miroir » d'une ville, « c'est aller à l'encontre de tout ce que nous aurions su jusqu'alors de la distinction des genres, de la distance entre réalité et représentation. C'est mettre en valeur les connexions plutôt que les objets » (Cauquelin, 2007, 186).

². Voir par exemple cette classification : « Au-delà des mots à la mode : les niveaux de maturité du jumeau numérique ». En ligne : <https://www.snclavalin.com/fr-fr/beyond-engineering/beyond-buzzwords-digital-twin-maturity-spectrum>

³. Nous définissons l'imaginaire comme « un ensemble de productions, mentales ou matérialisées dans des œuvres, à base d'images visuelles (tableau, dessin, photographie) et langagières (métaphore, symbole, récit), formant des ensembles cohérents et dynamiques, qui relèvent d'une fonction symbolique au sens d'un emboîtement de sens propres et figurés » (Wunenburger, 2006, 10).

Ce mythe de la récréation à l'identique peut-être associés aux mythes de Pygmalion et de Narcisse : « Produit d'une imitation, d'une *mimésis*, le double naît ainsi de la même activité de l'esprit que l'œuvre d'art : le double est l'horizon de la *mimésis*, laquelle tend vers un idéal impossible, contradictoire et toujours fuyant, la production d'un double parfait de la réalité. Derrière le double se profilent ainsi les mythes de Pygmalion et de Narcisse, mythes de la confusion du réel et de l'imaginaire, de l'effacement de la frontière entre le sensible et l'intelligible, la vie et le marbre, ou la toile peinte, et en tant qu'entreprise orgueilleuse de substitution d'une réalité forgée de main d'homme à une réalité "divine", les mythes de Prométhée ou de Faust : l'artisan humain prétend rivaliser avec l'artisan divin » (Troubetzkoy, 1996, 3). Ces mythes sont d'autant plus réifiés qu'ils sont alimentés par la croyance relativement répandue que les données qui alimentent ces solutions numériques sont « objectives », quand elles sont – comme tout objet technique –, le résultat de construits sociotechniques (Courmont, 2021).

Babel, grâce au réseau des réseaux

L'une des principales raisons d'être d'un jumeau numérique est de faire collaborer différents métiers autour d'un projet, tout au long de son cycle de vie (*Product Life Management*). Pour cela, il centraliserait les « données métiers », « casserait les silos » et favoriserait la collaboration entre les services d'une même organisation, et au-delà.

De nombreux projets de jumeaux numériques qui reproduisent un « objet unique » (usine, véhicule, etc.) ont montré que ces outils favorisent la collaboration et le partage des ressources entre différents métiers. Néanmoins, cet argument reste à prouver pour les jumeaux numériques urbains. Car, appréhender, conceptualiser, concevoir, gérer, ou encore piloter un espace urbain nécessite de croiser des métiers et des expertises très différentes (urbanistes, géographes, sociologues, paysagistes, aménageurs, etc.) et de composer avec une pluralité d'acteurs (concepteurs, décideurs, habitants-usagers-citoyens...) qui ont des objectifs, des représentations ou encore des modes de vie divers qu'une solution technique ne peut agréger, centraliser et synthétiser.

Les récents changements de stratégie « Smart City » opérés par des entreprises telles que IBM et Cisco, voire les revers subis par Sidewalk Labs à Toronto (Lucas, 2020), illustrent le fait qu'il n'est pas aisé pour des acteurs du numérique de faire collaborer des métiers aux cultures, pratiques, organisations ou encore langages différents (Dodard, 2020) pour produire un espace urbain (avec ou sans jumeau numérique d'ailleurs).

À ce titre, parce qu'ils promettent de centraliser les données et de regrouper les personnes, soit, d'une certaine manière les langues et les langages (informatiques), pour concevoir et organiser un environnement urbain, les jumeaux numériques urbains cristallisent le mythe de Babel. Ce mythe est lui-même au fondement des représentations irriguant le « réseau des réseaux », Internet, et de l'interconnexion généralisée de la société (Castells, 1997) dans laquelle le savoir et les connaissances permettent d'améliorer la technologie et son application, qui permettent à leur tour de renforcer les savoirs et les connaissances, qui nourrissent alors une nouvelle fois ce cercle vertueux. Par souci de rationalisation, d'optimisation ou encore d'efficacité, mais aussi par le poids de ce mythe fondateur et de la recherche de « l'association universelle » (Musso,

2022), de nombreux projets fleurissent pour favoriser l'interopérabilité entre les données et les jumeaux numériques, à l'image du développement de langages ouverts comme *The Digital Twins Definition Language* (DTDL) de Microsoft, de projets open source (Google Digital Building project), ou encore d'API. En juin 2019, 13 villes américaines ont également fondé l'Open mobility foundation pour favoriser la mise en place d'infrastructures connectées afin d'optimiser la gestion du trafic et l'établissement de standards communs dans l'objectif, à terme, de connecter des jumeaux numériques de différentes villes.

Sisyphé face à Gaïa

En 1800, la population urbaine représentait 3% de la population mondiale. En 1900, elle était de 14%, en 1950 de 30%, en 2012 de plus de 55%. Des prévisions évoquent régulièrement le seuil des 75% pour 2050⁴.

Pour faire face aux nombreux défis que représentent cette évolution majeure pour les environnements urbains, de nombreux acteurs (grands groupes de l'informatique et des technologies de l'information et de la communication, énergéticiens, start-ups, constructeurs automobiles, etc.) proposent des solutions numériques pour panser les plaies engendrées par la consommation et le gaspillage excessifs de nos sociétés et de ses effets sur la pollution. Cette vision est au fondement de la notion de « ville intelligente », ou *Smart City* en anglais, qui définit une ville dans laquelle le quotidien des habitants est amélioré, dans ses dimensions environnementales, sociales, économiques ou encore politiques, par la numérisation des infrastructures, des réseaux et de ses services, et leur optimisation grâce aux technologies informatiques, de l'information et de la communication et aux données numériques (*Big Data*) (Lucas, 2018a). Au-delà d'une acception réductrice de la *Smart City* qui en fait l'application du précepte « *la technologie pour la technologie* », c'est bien la recherche d'une meilleure efficacité environnementale qui constitue « le principal objectif de la smart city, qu'il s'agisse de diminuer sa consommation d'énergie ou le volume d'ordures qu'elle génère » (Picon, 2013, 17), au point que cette notion incarne « la rivalité entre deux référentiels fondamentaux : celui de la société de l'information et celui du développement durable » (Eveno, 2014, 27).

L'imaginaire de la *Smart City*, et par ruissellement celui des jumeaux numériques, est pétri de mythes qui s'actualisent régulièrement depuis le début de la numérisation de la société dans les années 1960. Par exemple, « dans les années 1980, les premières promesses du numérique ont largement concerné l'environnement : on allait réduire la consommation de matières premières, notamment en passant au “zéro papier”, et celle d'énergie, en évitant les déplacements inutiles. Mais les déplacements ont continué à augmenter (la facilité de communication à distance faisant croître les besoins de se rencontrer physiquement), tout comme jusqu'à très récemment la consommation de papier (la facilité d'échange et de manipulation des documents faisant croître le nombre d'impressions papier). De solution certaine, le numérique est alors devenu pour l'environnement un problème possible » (Laruelle, 2017, 151-152) ; et dorénavant probable pour de nombreux usages.

⁴. Site de la Banque mondiale. Perspectives d'urbanisation du monde, selon les Nations Unies : <http://donnees.banquemondiale.org/indicateur/SP.URB.TOTL.IN.ZS>

Comme toute technologie, les discours, représentations et imaginaires qui accompagnent la ville intelligente sont ambivalents, et s'articulent principalement autour de deux visions du monde : « d'un côté, un optimisme quasi messianique, porté par une croyance éperdue dans le salut par la technologie ; de l'autre, un pessimisme décliniste, prophétisant la surveillance généralisée par les Big Brothers de la Silicon Valley » (Haëntjens, 2018, 13). Les jumeaux numériques urbains héritent de ces imaginaires ambivalents, puisque « depuis vingt ans, les questions de ville durable et de lutte contre le dérèglement climatique sont avant tout absorbées sous l'angle des solutions technologiques, dans l'objectif d'optimiser nos fonctionnements urbains et de renforcer leur efficacité pour limiter les impacts » (Maire, 2022, 122). Or, poursuit l'auteur, « depuis vingt ans, les émissions de gaz à effet de serre et les consommations d'énergie dans le monde n'ont pourtant jamais cessé d'augmenter », ce qui pousse certains à qualifier l'objectif d'atteindre un développement durable grâce au numérique de « smart utopie » (Strengers, 2013). Toutefois, l'agence de la transition écologique (ADEME) a récemment publié 4 scénarios pour atteindre la neutralité carbone en 2050, dont l'un (le scénario 3 « Technologies vertes » ; ADEME, 2022) prévoit un développement technologique permettant de répondre aux défis environnementaux plutôt que l'évolution des changements de comportements vers plus de sobriété.

Héritages et traditions des jumeaux numériques urbains

Depuis 2008, Rennes Métropole explore les possibilités du numérique et des mondes dits « virtuels » pour coconstruire, donner à voir et à vivre son territoire⁵. En plus des recherches, applications et services proposés par l'administration pour modéliser, penser et coproduire son territoire (maquette de villes, reproduction de bâtiments et expérimentations dans Second Life, jumeau numérique, ...), l'association 3HitCombo propose par exemple « RennesCraft » pour penser la ville de demain dans le jeu Minecraft. Ce type de projet peut sembler anecdotique au regard des promesses et moyens des jumeaux numériques, mais il propose des manières de représenter et de se représenter, mais aussi d'expérimenter et de coproduire des environnements urbains différemment. S'ils répondent à des objectifs différents, un jumeau numérique et une modélisation dans Minecraft proposent des « régimes d'expérience » (Thévenot, 2006) différenciés au sein d'environnements urbains, dont il convient d'analyser les fondements pour pouvoir cultiver leur diversité.

Historiquement, deux trajectoires ont orienté le développement numérique des villes en trois dimensions (Lucas, 2016). D'un côté, la qualité visuelle poursuivait l'idéal de « l'illusionnisme visuel » (Manovich, 2001), afin de produire des villes numériques « analogues » (Bréaud, 2001) à leurs modèles. De l'autre, la reproduction des phénomènes ou la « simulation » de comportements au sein d'un environnement était privilégiée. De nos jours, cette distinction s'est étiolée tant la puissance de calcul des outils informatiques et les données disponibles rebattent les cartes des possibilités de modélisation et de modelage en 3D. En somme, il est désormais possible de conjuguer simulation et illusionnisme visuel. Pour autant, les jumeaux numériques ne sont pas la simple conjonction de ces deux traditions de la ville analogue : ils

⁵. En 2008, la ville de Rennes est la première au monde à disposer d'une maquette numérique d'un territoire sur CD-ROM.

symbolisent l'émergence du « *data driven model* », où la donnée est la pierre angulaire entre le modèle physique et une diversité de reproductions numériques possibles.

Le tableau ci-dessous illustre trois manières de représenter des villes en trois dimensions, ou trois « modèles » de villes en 3D (la ville analogue, la ville condensée, la ville distillée), les traditions qui les façonnent ou encore les régimes expérientiels qu'elles proposent. Contrairement à la ville analogue, qui est le modèle recherché dans les jumeaux numériques, la ville condensée que l'on trouve dans certains jeux vidéo par exemple ne cherche pas l'exhaustivité, mais la cohérence du modèle de référence par l'agrégation et l'assimilation de ses différentes parties. La ville distillée, quant à elle, est une réduction à l'extrême du modèle de référence qui n'en permet pas moins son identification, son appropriation, voire son habitabilité (Lucas, 2013 et 2018b). Cette catégorisation en trois grands modèles de villes en 3D ne permet ni de résumer l'ensemble des représentations numériques d'environnements urbains existants, ni de refléter celles qui circuleraient entre les modèles proposés. Elle autorise néanmoins une lecture historicisée des traditions qui forgent des représentations de villes en trois dimensions, qui conditionnent elles-mêmes des modalités d'expérience.

	Ville analogue	Ville condensée	Ville distillée
Exemples	Jumeau numérique... Maquette 3D, villes miroirs, SIG 3D...	Jeu vidéo, metavers	VRML, Monde Virtuel de Créations de Contenus (SL, Minecraft), Mondes miroirs (Twinity), metavers
Traditions	Simulation + illusionnisme visuel + data driven	Illusionnisme visuel	Allusion à ville (Totalisation)
Figure archétypale	Ingénieur / Décideur	Créateur / Codeur / Joueur	Artiste / Maker (DIY) / Geek / Codeur
Perception de la ville	Fonctionnelle (couches, données, flux, tableau de bord)	Expérientielle (Intensité / sensation)	Événementielle (socialisation) / Contemplation
Régime expérientiel	Pilotage, contrôle, régulation, aménagement	Immersion / Ludique	Immersion / Habiter
Régime(s) immersif(s)	Perceptif	Perceptif, Narratif, Social	Perceptif, Narratif, Social

Tableau 1 : Trois modèles de villes en 3D, leurs héritages et leurs caractéristiques.

Quel devenir pour les jumeaux numériques urbains ?

Les promesses des jumeaux numériques urbains doivent être considérées avec attention, car elles répondent à des objectifs essentiels de gestion, d'optimisation voire d'habitabilité de notre environnement commun. Par ailleurs, les jumeaux numériques ont montré leur plus-value dans la production ou encore la gestion d'objets industriels et bâtis. Toutefois, dans le domaine de

l'urbain, ces dispositifs numériques doivent être considérés pour ce qu'ils sont dès qu'ils sont appliqués à la ville ou à un territoire : ce sont des outils (au stage d'expérimentation) professionnels, conçus par des professionnels, à destination de professionnels.

Ainsi, à contre-courant de certains discours qui prônent la coconstruction d'un territoire avec l'ensemble des parties prenantes grâce à ces outils – sans qu'il n'y ait aujourd'hui de retour d'expérience tangible sur ce point – le développement de la « ville analogue » tel qu'il est entrepris par le prisme des jumeaux numériques favorise le retour d'un « urbanisme d'expertise » (Douay, 2018). Conséquemment, deux voies opposées semblent se dessiner pour que les jumeaux numériques urbains puissent incarner les promesses qui les motivent : soit les acteurs publics changent fondamentalement le fonctionnement de leur organisation pour « correspondre » aux modèles de pensée et aux modes de fonctionnement induits par la manière dont sont conçus ces solutions par les professionnels (ce qui implique du *reengineering* / du design organisationnel), soit les professionnels qui conçoivent ces outils repensent le design de ces outils, à partir des besoins effectifs de l'ensemble des parties prenantes qui habitent et participent à la fabrique quotidienne d'un environnement urbain. Or, pour faire de ces dispositifs de réels outils collaboratifs, leurs usages, donc leurs conceptions, doivent prendre en compte la diversité des publics pour leur permettre de vivre une pluralité de régimes expérientiels. Dès lors, la conception d'un jumeau numérique urbain doit « sortir » de la seule tradition de l'analogie ; même si le régime expérientiel d'un utilisateur ne se résume pas à la modélisation d'un environnement bâti, puisque l'interface, l'interactivité, les modalités d'immersion et les régimes associés sont par exemple à prendre en compte.

Sans que la finalité d'un jumeau numérique urbain soit de remplacer l'ensemble des modélisations existants (jeu vidéo, metavers, etc.), elle doit néanmoins permettre l'expression d'une diversité de manière de représenter et de se représenter, ou encore de faire l'expérience d'une ville ou d'un territoire grâce au numérique, afin de faire émerger des récits, des visions et un partage d'imaginaires alternatifs à ceux, technicistes, et professionnels, jusqu'alors encapsulés dans les jumeaux numériques urbains. À l'heure où les business model de ces expérimentations ne sont pas encore éprouvés (Banque des territoires, 2021, 3), les décideurs publics doivent redoubler d'attention quant aux promesses que véhiculent les discours qui accompagnent ces solutions, et veiller notamment à la diversité des régimes d'expérience que ces solutions peuvent proposer pour en faire de réels outils de partage d'informations et d'aide à la décision collective.

Bibliographie

ADEME (2022), « Transitions 2050. Choisir maintenant. Agir pour le climat », collection Horizons.

BALANDIER G. (2001), *Le Grand Système*, Paris, Fayard.

BANQUE DES TERRITOIRES (2021), « Miroir, miroir... : le jumeau numérique du territoire », rapport publié en juillet 2021.

BREAUD O. (2001), *Le réalisme dans l'image informatique. Etude des années 1980 et 1990*, L'Harmattan, Champs visuels.

- CASTELLS M. (1997), *La société en réseaux*, Paris, Fayard.
- CAUQUELIN A. (2007), *Le site et le paysage*, Paris : PUF, 2e édition.
- COURMONT A. (2021), *Quand la donnée arrive en ville. Open data et gouvernance urbaine*, PUG, Libre cours politique.
- DERUELLE V. (2008), « Des cyberterritoires à fabriquer ? », in *Territoires et cyberspace en 2030*, dir. Pierre MUSSO, La Documentation française, DIACT, n°7 travaux.
- DOUAY N. (2018), *L'urbanisme à l'heure du numérique*, ISTE Éditions, Collection Systèmes d'information, web et société.
- DODARD A. (2020), « Les plateformes de modélisation urbaine : des instruments aux finalités variées. Comparaison des projets des métropoles de Lyon et Rennes et de la région Ile-de-France », Sciences Po, Chaire Villes et numériques, Working paper, n°04.
- EVENO E. (2014), « Comment l'intelligence vint aux villes ? », *Urbanisme*, n°394, pp. 26-27.
- HAËNTJENS J. (2018), *Comment les géants du numérique veulent gouverner nos villes : La Cité face aux algorithmes*, Paris, Rue de l'échiquier.
- KENSEK K.M. (2015) (dir.), *Manuel BIM, Théories et applications*, Eyrolles, Blanche BTP.
- LARUELLE N. (2017), « Numérique et environnement, un équilibre à trouver », *De la Smart City à la région intelligente*, Les cahiers de l'institut d'aménagement et d'urbanisme d'Île-de-France, pp.151-153.
- LUCAS J.-F. (2013), « De l'immersion à l'habiter dans les mondes virtuels. Le cas des villes dans *Second Life* ». Thèse de doctorat en sociologie soutenue à l'Université Rennes 2.
- LUCAS J.-F (2016), « Modélisation et Simulation de la ville. Le cas des villes virtuelles en 3D », in Pierre MUSSO (dir.), *Imaginaire, Industrie, Innovation*. Actes du colloque de Cerisy, 21-28 septembre 2015, Cerisy-la-Salle, Manucius.
- LUCAS J.-F (2018a), « Pour une fabrique des imaginaires de la Smart City », *Études digitales*, n°6, Vol. 2, Religiosité technologique, II, p. 53-76.
- LUCAS J.-F (2018b), « Les figures de l'habitant dans les mondes virtuels », *Sciences du jeu*, vol. 10. En ligne : <https://journals.openedition.org/sdj/1353>
- LUCAS J.-F (2020), « Les villes de demain ne peuvent se faire sans la confiance des citoyens », *HUB Institute*. En ligne : <https://hubinstitute.com/2020/06/Sustainable-SmartCity-Toronto-Quayside-Sidewalk-JeanFren%C3%A7oisLucas-Chronos-DanielDoctoroff-data-gouvernance>
- MAIRE S. (2022), « Pour des visions réalistes de la ville durable », in Fabien GARNIER, Lionelle MASCHINO et Maxime TROCME (dir.), *Construire plus vite la ville durable, Nouveaux modèles et partenariats*, Eyrolles.
- MANOVICH L. (2001), *The Language of New Media*, The MIT Press.
- MUSSO P. (2022), *L'imaginaire du réseau*, Manucius, Collection Modélisations des imaginaires, Innovation et Création.

SIMONDON G. (1958), *Du mode d'existence des objets techniques*, Aubier.

PICON A. (2013), *Smart Cities. Théorie et critique d'un idéal auto-réalisateur*, Paris, Editions B2, Collection Actualités.

STRENGERS Y. (2013), *Smart energy technologies in everyday life. Smart Utopia ?*, Londres, Palgrave Macmillan.

THEVENOT L. (2006), *L'Action au pluriel. Sociologie des régimes d'engagement*, Paris, La Découverte.

TROUBETZKOY W. (1996), *L'Ombre et la différence : le double en Europe*, Paris, PUF.

WUNENBURGER J.-J (2006), *L'imaginaire*, PUF, Que sais-je ?.