



**HAL**  
open science

## Représentation de l'évolution urbaine à travers une maquette tangible de territoires

C Le Bihan Gautier, J Delanoy, G Gesquière

### ► To cite this version:

C Le Bihan Gautier, J Delanoy, G Gesquière. Représentation de l'évolution urbaine à travers une maquette tangible de territoires. Les journées Françaises de l'Informatique Graphique, AFIG, Oct 2024, Strasbourg, France. hal-04924304

**HAL Id: hal-04924304**

**<https://hal.science/hal-04924304v1>**

Submitted on 31 Jan 2025

**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.

Public Domain

# Représentation de l'évolution urbaine à travers une maquette tangible de territoires

C. Le Bihan Gautier<sup>1</sup>, J. Delanoy<sup>2</sup> et G. Gesquière<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Université Lumière Lyon 2, CNRS, INSA Lyon, Université Claude Bernard Lyon 1, LIRIS, UMR5205, Villeurbanne, France

## Abstract

Les représentations numériques de territoires sont essentielles dans la compréhension de nos villes et de leur évolution. La navigation en 3D à travers les données urbaines multi-dimensionnelles permet de visualiser tous les aspects qui composent l'environnement urbain. Cependant, ces outils restent des expériences individuelles et l'utilisateur risque de manquer certaines informations derrière son écran. Une approche plus collective comblerait cette perte d'information et permettrait de rassembler différentes disciplines autour des données urbaines. La maquette physique augmentée par le numérique est une réponse à ce besoin. Elle favorise les échanges et la médiation permettant aux utilisateurs d'interagir collectivement avec la représentation urbaine. Dans cet article, nous proposons d'utiliser une maquette augmentée pour la visualisation et l'analyse de l'évolution urbaine. Nous lions la représentation physique avec la représentation 3D numériques de l'évolution à travers la projection des changements morphologiques. Afin de contextualiser ces changements, nous intégrons un module multimédia projetant des documents pertinents juxtaposés à la maquette. Cette approche offre une compréhension plus complète et interactive de l'évolution urbaine.

## 1. Introduction

Avec l'émergence des données urbaines, de plus en plus d'outils numériques de représentation d'un territoire apparaissent. Ils permettent de visualiser la ville, en 3D ou en 2D, avec tous ses composants (réseaux de transports en commun, zones végétalisées, fonction des bâtiments, etc.). Ce type de visualisation peut servir d'outil de médiation pour discuter autour de l'évolution d'un territoire. Cependant, l'expérience est principalement individuelle, avec une personne derrière un écran et ne permet pas facilement de regrouper plusieurs personnes autour d'un projet. Les maquettes physiques de villes, quant à elle, sont des outils de médiation plus collectifs, elles facilitent les échanges autour d'un même objet urbain. Toutefois, elles fixent la représentation à une date donnée rendant ainsi difficile la visualisation de l'évolution morphologique de la ville. Nous proposons de coupler une représentation 3D de l'évolution urbaine avec la maquette physique afin de créer un dispositif collaboratif complet pour la compréhension de l'évolution d'un territoire.

Notre première contribution s'appuie sur une collaboration que nous avons fait avec le MIT sur le projet ReAgent (<https://cordis.europa.eu/project/id/101028036>). Ce projet proposait un support pour poser une maquette physique ainsi qu'une projection dynamique de multi-agent. Dans ce papier, nous utilisons un support similaire pour la maquette en utilisant la projection et un écran pour contextualiser la maquette et nous proposons une approche pour la conception de maquette physique d'un

territoire à partir de données 3D géospatiales (décrit en section 3). Ce dispositif a été mis au point à travers des ateliers de médiation permettant de voir la maquette augmentée en action (voir Section 5). Notre deuxième contribution consiste à utiliser le dispositif pour visualiser l'évolution urbaine d'un quartier. Nous nous basons sur nos précédents travaux de représentation de l'évolution en 3D à travers des timelines [GDG23]. Nous utilisons l'écran pour visualiser l'ensemble de l'évolution en 3D et projetons sur la maquette les changements morphologiques depuis la période de référence (voir la Section 4.1). La visualisation des changements ne suffit pas à comprendre cette évolution, nous avons donc contextualisé l'évolution à travers une projection de multimédia juxtaposé à la maquette (voir Section 4.2).

## 2. État de l'art

Pendant longtemps, les maquettes ont permis de décrire un territoire, elles sont des outils facilitant les échanges autour d'un territoire. De nos jours, on en retrouve beaucoup dans les musées, les maisons de projets, etc. Ces maquettes permettent de rendre compte de l'état d'une ville à une date fixe [ABG\*22]. Les travaux de Luo et al. [LLC22] comparent une réplique numérique d'un parc à sa représentation physique en maquette. A travers une étude utilisateurs, ils en concluent que l'utilisation d'une maquette numérique est compliqué pour certains publics. Une approche intégrant numérique et physique permettrait de combler les limites de chaque représentation.

52 Les maquettes augmentées visent à combiner les avantages des  
 53 représentations numériques et physiques, principalement en pro-  
 54 jetant des informations supplémentaires sur la maquette. Cette  
 55 combinaison crée une interface utilisateur tangible qui facilite  
 56 l'interaction avec les données numériques et leur manipulation dans  
 57 l'espace réel [KK11, Sal14]. L'approche de Tang [Tan19] propose  
 58 d'utiliser des Lego comme matériel pour la construction de la ma-  
 59 quette tangible. Le Lego permet de rendre la maquette modulaire  
 60 et offre plus d'interactivité avec le dispositif. Le MIT CityScope  
 61 utilise également le Lego pour proposer un outil de conception  
 62 de quartier [AZG\*18]. Ils complètent cette maquette par une pro-  
 63 jection de donnée et un écran affichant des indicateurs de per-  
 64 formances urbaines (densité, diversité, mobilité énergie par per-  
 65 sonne). Ils proposent une approche interactive dans la réflexion  
 66 des quartiers de demain. Ces approches montrent que les maquettes  
 67 augmentées sont des dispositifs qui facilitent l'interaction autour des  
 68 données urbaines. Elles peuvent être utilisées lors d'ateliers inter-  
 69 actifs où différents profils se retrouvent. Cet objet peut servir d'objet  
 70 frontière pour combler le fossé entre les différentes compétences et  
 71 les différents intérêts des participants [Bra07]. Toutefois ces ap-  
 72 proches ne proposent pas une visualisation de l'évolution d'un ter-  
 73 ritoire. La maquette physique fige la représentation à une date spé-  
 74 cifique et ne montre pas l'évolution morphologique.

75 Nikolakopoulou et al. [NPM\*22] utilisent la maquette augmen-  
 76 tée pour présenter l'héritage culturel d'un village en Grèce. Ils  
 77 utilisent des projections dynamiques ainsi que des illustrations  
 78 placées à côté du dispositif pour présenter des événements histo-  
 79 riques (par ex. une invasion de pirates) qu'a pu subir le village.  
 80 Cependant, ils ne proposent pas une approche mettant en avant les  
 81 différents types de changements morphologiques du village.

82 Nos précédents travaux [GDG23] proposent une approche  
 83 numérique de visualisation de l'évolution d'un territoire en 3D.  
 84 Elle met en avant les changements morphologiques de bâtiments  
 85 à travers des timelines intégrés dans un espace 3D. Nous lions  
 86 cette visualisation avec le dispositif de maquette augmentée afin  
 87 de proposer une approche collective dans la compréhension de  
 88 l'évolution. Pour la conception de la maquette augmentée, nous  
 89 nous sommes inspirés des dispositifs existant en élaborant une ap-  
 90 proche reproductible et transportable. Nous avons développé une  
 91 méthode se basant sur des données open source pour générer auto-  
 92 matiquement le plan Lego de la zone souhaitée.

### 93 3. Dispositif physique

94 Dans cette section nous décrivons le dispositif physique de maque-  
 95 tte augmentée en présentant tout d'abord une vue globale du dis-  
 96 positif avant de décrire notre approche pour construire la maque-  
 97 tte et l'utilisation de la projection. Nous avons pensé l'outil pour  
 98 qu'il soit démontable et qu'il puisse être transporté dans une four-  
 99 çonne, rendant ainsi cet outil de médiation mobile.

#### 100 3.1. Vue global du dispositif

101 Le support pour la maquette est composé d'une table sur laque-  
 102 lle nous posons la maquette. Cette table a pour dimension 1m de  
 103 largeur, 2m de longueur et la hauteur peut être réglée en fonction du  
 104 public. Nous avons fait le choix d'avoir une table à une hauteur de

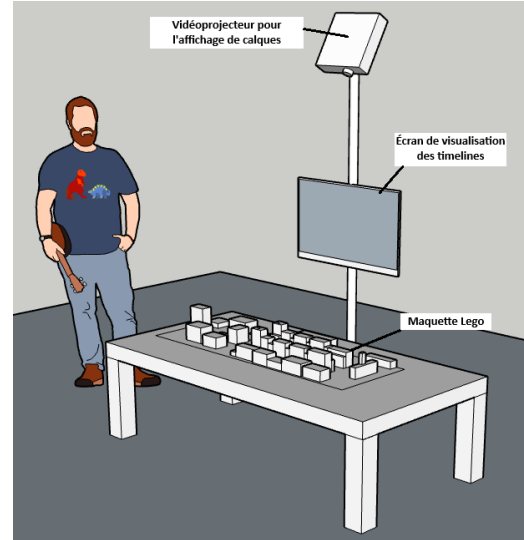


Figure 1: Schéma du dispositif de maquette augmentée composé de sa maquette Lego et de la projection.

105 0.60m pour qu'un public plus jeune puisse voir l'ensemble de la  
 106 maquette.

107 Un mat métallique de hauteur 2.30m est fixé sur le côté de la ta-  
 108 ble (voir Figure 1). Sur ce mat nous avons fixé un vidéoprojecteur  
 109 orienté vers la maquette et un écran de 31.5 pouces à une hauteur  
 110 de 1.30m. Le vidéoprojecteur nous permet de projeter des données  
 111 complémentaires sur les Lego blancs. L'écran permet d'afficher la  
 112 représentation 3D numérique de la ville ou des données en lien  
 113 avec la maquette. Le vidéoprojecteur et l'écran sont reliés à un ordi-  
 114 nateur portable qui fait le lien entre la projection sur la maquette  
 115 physique et la maquette numérique 3D. Pour contrôler le dispositi-  
 116 f (p. ex. changement de version), un pavé numérique sans fil est  
 117 connecté à l'ordinateur. Le pavé sans fil permet à l'utilisateur de se  
 118 déplacer librement autour de la maquette. Il peut également passer  
 119 d'un utilisateur à un autre plus facilement.

#### 120 3.2. Conception de la maquette physique

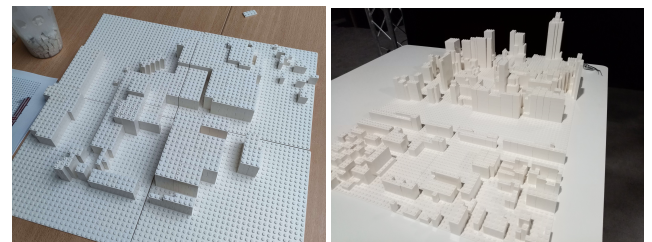


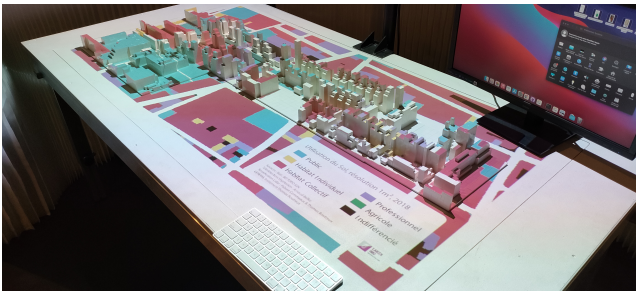
Figure 2: Deux exemples de construction de maquette Lego.

121 La maquette de la ville est construite à partir de blocs de Lego  
 122 blancs. La flexibilité du Lego permet de changer facilement de ter-  
 123 ritoire ou d'échelle si cela ne correspond pas aux attentes. De plus,

son aspect ludique favorise l'implication des utilisateurs. En utilisant exclusivement du Lego blanc, nous facilitons aussi la projection d'informations sur la maquette. Pour construire la maquette physique nous nous sommes basés sur les données 3D géospatiales provenant de la métropole de Lyon et disponibles en open source. Les données géospatiales nous permettent une approche reproductible et d'être le plus fidèle possible par rapport à la réalité. Pour transformer un modèle 3D d'une ville en cubes de Lego nous avons développé un algorithme, que nous appelons "legonizer", se basant sur le principe de lancer de rayons. L'utilisateur sélectionne la zone souhaitée à transformer en Lego à travers une interface web (UD-Viz <http://vcity.liris.city/udvizexamples/>). Le "legonizer" lance des rayons à intervalles réguliers pour créer un quadrillage selon l'échelle choisie de la maquette. À la fin du processus, il produit une carte de hauteur discrétisée qui est ensuite convertie en fichier CSV servant ainsi de fiche de construction pour la maquette.

La figure 2 montre deux maquettes d'une échelle différentes générées par le "legonizer". L'image de gauche est la maquette d'une usine de métallurgie. Elle permet de détailler la fonction de chaque bâtiments qui compose l'usine. La deuxième photo est une maquette du quartier Part-Dieu (Lyon) et permet visualiser comment tout le quartier s'organise autour de la gare ferroviaire, avec une forme de bâtiments moins précise.

### 3.3. Systeme de projection



**Figure 3:** Exemple de projection de calques sur la maquette lego de Gratte-ciel (Villeurbanne).

La projection d'images sur la maquette blanche permet d'enrichir notre compréhension du territoire en ajoutant des informations urbaines complémentaires. Cela inclut des détails sur les fonctions des bâtiments, les zones végétalisées ou les lignes de transports en commun. Les utilisateurs peuvent naviguer entre les différents calques projetés à l'aide du pavé numérique. Ces calques peuvent être créés à partir de données urbaines 2D ou d'images et vidéos personnalisées.

Le calibrage de la projection sur la maquette est fait manuellement en redimensionnant notre calque et en jouant avec les paramètres du vidéoprojecteur. Toutefois, nous travaillons actuellement sur l'automatisation du processus en utilisant les dimensions définies dans le legonizer pour les transposer aux dimensions de notre calque.



**Figure 4:** Visualisation de l'ensemble de données sur les bâtiments avec la timeline en forme de cercle.

## 4. L'évolution urbaine visualisé sur la maquette

La maquette physique est une version du territoire représentée figée à un instant  $t$ . Pour visualiser l'évolution de la ville nous sommes contraint par cette version figée et nous devons montrer d'évolution à partir de cette version. Nos précédents travaux [GDG23] permettent de visualiser en 3D l'ensemble des versions disponibles d'un jeu de donnée pour en comprendre l'évolution. Nous utiliserons cette approche pour projeter les types de changements sur la maquette et permettre à l'utilisateur de visualiser l'évolution globale en 3D (Section 4.1). Pour contextualiser ces changements nous avons développé une méthode qui lie le calque d'évolution à des multimédias (images, documents, vidéos) (Section 4.2).

### 4.1. Projection des changements morphologiques

Dans nos précédents travaux, nous avons représenté l'évolution de la ville à travers des timelines pour la visualiser dans sa globalité [GDG23] (un exemple est montré en Figure 4). Chaque version est une représentation de la ville à un instant  $t$  et est affichée sur la timeline avec une colorisation des bâtiments pour mettre en avant le type de changements [JSG20]: constructions (vert), destructions (rouge) et modifications (jaune).

Nous visualisons ces timelines sur l'écran placé au dessus de la maquette pour montrer à l'utilisateur l'ensemble des versions disponibles et l'évolution globale du territoire. Nous utilisons les formes de timeline de type "focus" car cette visualisation cible naturellement une version dans la scène 3D (voir Figure 4). L'utilisateur peut ainsi comparer la version figée de la maquette tangible avec l'une des versions de la timeline. L'utilisateur peut passer d'une version à une autre dans la timeline grâce au pavé numérique. La version de la maquette est sélectionnée par défaut au lancement de l'interaction afin que l'utilisateur sache à partir de quelle version il visualise les changement.

Pour illustrer l'évolution du quartier par rapport à la version figée en Lego nous projetons un calque correspondant au cadastre des



**Figure 5:** Résultat de notre approche de projection de calque de changement contextualisé avec un multimédia. L'image du dessus est la projection du calque de changement avec les couleurs rouge et jaune correspondant à une destruction et une modification. Le multimédia, à côté, contient une image avec un titre. On retrouve cette projection sur la photo du dispositif.

196 bâtiments du territoire. Le calque reprend les mêmes couleurs des  
 197 types de changements morphologiques citées plus haut pour mettre  
 198 en évidence les bâtiments en Lego qui ont évolué. Sur la Figure 5,  
 199 on voit ainsi un bâtiment "rouge" qui indique que ce bâtiment a été  
 200 détruit entre la version de la maquette et la version mise en avant  
 201 en 3D. Actuellement, les calques de changement morphologique  
 202 sont créés manuellement mais nous travaillons à leur génération  
 203 automatique en fonction de la colorisation des bâtiments en 3D.

#### 204 4.2. Projection des multimédias

205 La représentation des types de changements ne suffit pas à expli-  
 206 quer les raisons de ces modifications et manque de contextualisa-  
 207 tion. Pour pallier ce problème, nous complétons la projection par  
 208 des multimédias. Ces multimédias sont liés à une version spécifique  
 209 des données et contextualisent les différents types de changements  
 210 urbains survenus pendant la période sélectionnée sur la timeline. Ce  
 211 contenu s'adapte dynamiquement en fonction de la version mise en

212 focus par l'utilisateur. Un calque peut être associé à plusieurs élé-  
 213 ments multimédias, apportant ainsi plus d'informations à celui-ci.

214 Le multimédia est projeté à côté de la maquette physique, placé  
 215 à côté du calque de changements pour ne pas empiéter dessus (voir  
 216 la photo Figure 3). La navigation entre les multimédia associé à un  
 217 calque s'effectue avec le pavé numérique.

### 218 5. Résultats et ateliers

219 La combinaison de la représentation de l'évolution urbaine avec  
 220 des informations multimédias contextuelles sur la maquette crée  
 221 un environnement propice aux échanges sur l'évolution urbaines.  
 222 Il fournit toutes les informations nécessaires pour une compréhen-  
 223 sion approfondie des transformations de la ville. Ce dispositif se  
 224 prête particulièrement bien à l'organisation d'ateliers thématiques  
 225 sur des questions urbaines spécifiques, en permettant aux utilisate-  
 226 urs d'interagir entre eux et avec la maquette. De plus, sa capacité  
 227 à présenter des données complexes de manière hybride et interac-  
 228 tive peut être utilisée comme un outil d'aide à la décision pour les  
 229 urbanistes, les planificateurs et les décideurs politiques.

230 Nous avons pu expérimenter le dispositif lors d'ateliers pluridis-  
 231 ciplinaires autour des données urbaines. Nous avons réuni des étu-  
 232 diants de formations variées pour travailler sur une thématique ur-  
 233 baine avec comme seule contrainte d'utiliser la maquette augmen-  
 234 tée comme support. Une phase de conception et de développement  
 235 d'une semaine permettait aux étudiants de s'emparer du dispositif  
 236 et préparer leur thématique. Nous avons pu constater que le public  
 237 s'appropriait rapidement le territoire, qui pouvait être inconnu pour  
 238 certains, et les échanges se focalisaient sur la thématique urbaine  
 239 choisie par les étudiants. Le dispositif n'a été testé lors d'atelier  
 240 que sur des calques sans la visualisation de l'évolution urbaine (un  
 241 exemple est montré en Figure 3). Nos prochains ateliers se baseront  
 242 sur cette visualisation de l'évolution avec la maquette augmentée  
 243 afin de continuer à faire évoluer le dispositif.

### 244 6. Conclusion

245 La représentation de l'évolution urbaine est un élément clef dans  
 246 la compréhension d'un territoire. Notre approche pour la visualisa-  
 247 tion de l'évolution urbaine combine les avantages des représenta-  
 248 tions numériques et des maquettes physiques. Nous présentons une  
 249 approche de conception de maquette augmentée reproductible et  
 250 basée sur les données 3D géospatiales. L'intégration de la représen-  
 251 tation en timelines de l'évolution couplée à la projection sur la ma-  
 252 quette donne une visualisation claire et intuitive des changements  
 253 urbains au fil du temps. L'ajout d'un module d'intégration de mul-  
 254 timédia contextualise les changements observés offrant une com-  
 255 préhension plus approfondie des raisons et des impacts des évolu-  
 256 tions urbaines. Cette fonctionnalité enrichit l'expérience utilisateur  
 257 et le potentiel pédagogique du dispositif. Notre approche favorise  
 258 une compréhension collective et interactive des enjeux urbains, dé-  
 259 passant les limites des outils purement numériques ou physiques.  
 260 Une des possibles améliorations du dispositif, serait l'intégration de  
 261 fonctionnalités de simulation urbaine afin de rendre l'outil plus im-  
 262 mersif.

263 **References**

- 264 [ABG\*22] ANDRY T., BONACCORSI J., GESQUIÈRE G., GRIGNARD  
265 A., JOLIVEAU T.: À quoi rêvent les maquettes? maquette augmentée  
266 et médiation urbaine, un défi pluridisciplinaire. In *SCAN 22* (2022),  
267 vol. 147, p. 02004. 1
- 268 [AZG\*18] ALONSO L., ZHANG Y. R., GRIGNARD A., NOYMAN A.,  
269 SAKAI Y., ELKATSHA M., DOORLEY R., LARSON K.: Cityscope: a  
270 data-driven interactive simulation tool for urban design. use case volpe.  
271 In *Unifying Themes in Complex Systems IX: Proceedings of the Ninth In-*  
272 *ternational Conference on Complex Systems 9* (2018), Springer, pp. 253–  
273 261. 2
- 274 [Bra07] BRANDT E.: How tangible mock-ups support design collabora-  
275 tion. *Knowledge, Technology & Policy* 20, 3 (2007), 179–192. 2
- 276 [GDG23] GAUTIER C., DELANOY J., GESQUIÈRE G.: Representation  
277 of urban geometry evolution through space-time cube. In *2023 27th*  
278 *International Conference Information Visualisation (IV)* (2023), IEEE,  
279 pp. 414–419. 1, 2, 3
- 280 [JSG20] JAILLOT V., SERVIGNE S., GESQUIÈRE G.: Delivering time-  
281 evolving 3d city models for web visualization. *International Journal of*  
282 *Geographical Information Science* 34, 10 (2020), 2030–2052. 3
- 283 [KK11] KNECHT K., KONIG R.: Augmented urban model: Bridging the  
284 gap between virtual and physical models to support urban design. In *The*  
285 *11th International Conference on Construction Applications of Virtual*  
286 *Reality* (2011), pp. 142–152. 2
- 287 [LLC22] LUO J., LIU P., CAO L.: Coupling a physical replica with a  
288 digital twin: A comparison of participatory decision-making methods  
289 in an urban park environment. *ISPRS International Journal of Geo-*  
290 *Information* 11, 8 (2022), 452. 1
- 291 [NPM\*22] NIKOLAKOPOULOU V., PRINTEZIS P., MANIATIS V., KON-  
292 TIZAS D., VOSINAKIS S., CHATZIGRIGORIOU P., KOUTSABASIS P.:  
293 Conveying intangible cultural heritage in museums with interactive sto-  
294 rytelling and projection mapping: the case of the mastic villages. *Her-*  
295 *itage* 5, 2 (2022), 1024–1049. 2
- 296 [Sal14] SALIM F.: Tangible 3d urban simulation table. In *Proceedings of*  
297 *the Symposium on Simulation for Architecture & Urban Design* (2014),  
298 vol. 23, Society for Computer Simulation International, pp. 1–23. 2
- 299 [Tan19] TANG H.: *ShapeUD: A Real-time, Modifiable, Tangible Inter-*  
300 *active Tabletop System for Collaborative Urban Design*. PhD thesis,  
301 Purdue University, 2019. 2