

# Restituer la morphologie des villes portuaires antiques : de l'image 2D à la 3D

## *Reconstructing the Morphology of Ancient Port Cities: From 2D image to 3D*

Renato Saleri<sup>\*1</sup> et Stéphanie Mailleur<sup>1</sup>

<sup>1</sup>MAP-Aria (UMR 3495 CNRS/MC), ENSA Lyon, France

**Résumé.** Les champs disciplinaires de l'historien et de l'archéologue nous éclairent aujourd'hui de manière extrêmement documentée sur la « réalité » urbaine, architecturale et sociale des mondes disparus. Cependant, la plupart de ces travaux ne prêtent aux outils numériques de modélisation et de représentation de l'espace qu'un rôle « d'artiste éclairé » auquel on demande – au moment où l'on range les outils dévolus au relevé et à la fouille – d'illustrer les hypothèses retenues par ces éminents spécialistes de l'histoire. En effet, le processus de synthèse intervenant lors de la restitution finale de l'espace anthropique – mobilisant souvent des dispositifs techniques complexes et très spécialisés – entre en scène presque toujours en « bout de course » alors que l'harmonisation des apports scientifiques issus des disciplines afférentes au contexte de l'étude ont déjà en quelque sorte « figé » le panorama des hypothèses envisageables, notamment dans la restitution de la morphologie urbaine ou de la représentation de l'architecture vernaculaire. En prenant appui sur un vaste corpus iconographique représentant les espaces portuaires de la période impériale romaine et tirant parti de l'expérience menée autour du port de Portus, ce projet de recherche, financé par le Labex IMU, essaiera tout au long de son existence de briser ce tabou.

**Mots clés.** Modélisation 3D, Outils génératifs, Archéologie, Iconographie, Architecture portuaire.

**Abstract.** The disciplines of the historian and the archaeologist put in light the urban, architectural and social 'reality' of ancient worlds. However, most of these works only lend the digital tools of modeling and representation of space a role of "enlightened artist" who is asked - when the tools devoted to the survey and excavation are put away - to illustrate the hypotheses retained by the specialists of history. Indeed, the process of synthesis that takes place during the final restitution of the anthropic space - often mobilizing complex

---

\* Corresponding author: [renato.saleri@lyon.archi.fr](mailto:renato.saleri@lyon.archi.fr)

and highly specialized technical devices - almost always comes into play at the "end of the process" when the harmonization of the scientific contributions from the disciplines related to the context of the study have already "frozen" the panorama of the possible hypotheses, particularly in the restitution of urban morphology or the representation of vernacular architecture. Based on a wide iconographic corpus representing the port areas of the Roman imperial period and drawing on the experience of the port of Portus, this research project, funded by the Labex IMU, will try to break this taboo.

**Keywords.** 3D modelling, Generative tools, Archaeology, Iconography, Port architecture.

## 1 Introduction

À l'époque impériale romaine, le contrôle du Mare Nostrum et la connexion entre Rome et ses provinces sont assurés grâce à un important réseau portuaire qui permet de maintenir un rayonnement économique et commercial tout autour de l'Empire. Plus qu'un simple seuil entre la mer et la terre, les ports font l'objet d'une attention particulière et forment un réel paysage urbain, constitué de bâtiments utilitaires et de monuments organisés autour de l'espace portuaire de façon scénographique et programmée. Au cours de ces dernières décennies, les études portant sur les infrastructures portuaires antiques se sont multipliées. Malgré les fouilles archéologiques récentes, nos connaissances relatives aux architectures portuaires sous l'Empire romain restent très floues. Pour la majorité des anciens ports méditerranéens, les infrastructures du front de mer sont relativement mal conservées en raison des contraintes de désintégration marine, des variations du niveau de la mer ou encore des projets de construction moderne. Les archéologues sont capables de reconstituer, la plupart du temps, un plan mais la troisième dimension est difficile à imaginer.

## 2 Contexte de la recherche

Pour reconstituer virtuellement les espaces urbanisés des villes portuaires, les archéologues ont massivement recours aujourd'hui à toute une panoplie technique leur permettant d'amplifier leur capacité à observer et à analyser les vestiges du passé : les outils numériques dévolus par exemple à l'analyse et à l'interprétation des données collectées bénéficient d'apports et d'innovations technologiques enrichies in-situ et ex-situ depuis maintenant plusieurs décennies. En revanche, cette capacité à « amplifier le regard » des scientifiques se heurte encore aujourd'hui à la difficulté à positionner pleinement les outils de modélisation, de simulation et de visualisation géométrique 3D au cœur de l'étude. En effet, le processus de synthèse intervenant lors de la restitution finale de l'espace anthropique - mobilisant souvent des dispositifs techniques complexes et très spécialisés - entre en scène presque toujours en « bout de course » alors que l'harmonisation des apports scientifiques issus des disciplines afférentes au contexte de l'étude ont déjà en quelque sorte « figé » le panorama des hypothèses envisagées, notamment dans la restitution de la morphologie urbaine ou de la représentation de l'architecture vernaculaire.

Ce papier présente les recherches menées dans le cadre du projet « Modéliser la morphologie et la dynamique des villes portuaires de la Méditerranée romaine », financé par le LabEx IMU (Intelligences des Mondes Urbains) depuis septembre 2021. Dans une approche résolument pluridisciplinaire et innovante, il fait suite aux travaux de thèse de

doctorat<sup>2</sup> qui proposent une réflexion originale sur le potentiel documentaire des sources iconographiques antiques pour mieux comprendre l'aspect architectural des ports romains, en les confrontant inéluctablement aux données du terrain et des textes. Il s'appuiera également sur l'expérience conduite par le MAP autour de la restitution en 3D de Portus, rendue possible grâce aux travaux de l'École Française de Rome et de la participation du musée des Beaux-Arts de Lyon et de Lugdunum, musée et théâtres romains de Fourvière.

### 3 Les sources iconographiques antiques

#### 3.1 Aperçu du corpus

Dès l'époque augustéenne, les Romains manifestent un certain engouement à représenter des paysages maritimes que Vitruve<sup>3</sup> et Pline l'Ancien<sup>4</sup> rangent parmi les *topia* (du grec *topos*, signifiant « lieu géographique »). Les scènes portuaires font ainsi partie du répertoire iconographique de la peinture paysagère et deviennent largement populaires, notamment dans les *pinakes* (du grec *pinax* désignant des petits tableaux) des décors domestiques du second style pompéien. La peinture de Stabies, ci-dessous représentée, tout comme la série des peintures campaniennes exceptionnellement conservées grâce à l'éruption du Vésuve survenue en 79 ap. J.-C., illustre des éléments identifiables de l'architecture portuaire sans pour autant représenter un port précis comme beaucoup ont pu l'imaginer. Cette peinture décore un espace privé, le *cubiculum* (chambre à coucher) de la Villa San Marco à Stabies. Elle met en avant le caractère esthétique du paysage maritime<sup>5</sup> naturel et monumental de l'espace anthropisé suscitant la contemplation.



**Fig. 1.** Peinture de Stabies (Villa San Marco). Musée archéologique national de Naples, n° 9514. 26 x 24.5 cm. I<sup>er</sup> siècle.

<sup>2</sup> S. Maillier, *Imagining Roman Ports. The Contribution of Iconography to the Reconstruction of Roman Mediterranean Portscapes of the Imperial Period*, University of Southampton, thèse réalisée dans le cadre du projet ERC *Rome's Mediterranean Ports – PortusLimen* (2014-2017).

<sup>3</sup> Vitruve, *De Architectura*, VII 5, 2.

<sup>4</sup> Pline, *Histoire Naturelle*, XXXV, 116.

<sup>5</sup> Pline Le Jeune *Corresp.* II, 17, 27 ; Cicéron *Ad. Attic.* XIV, 20, 1

Le vaste corpus de plus de 260 documents rassemblés durant les travaux de recherche doctorale illustre l'ampleur de l'iconographie portuaire dans la culture de l'empire romain et témoigne de l'importance des ports dans la société romaine. Ce phénomène semble être étroitement lié au contexte historique de l'époque, marqué par une politique d'aménagements portuaires intensive dont les travaux les plus significatifs sont effectués à Portus, le nouveau port maritime de la Rome impériale. Cet évènement majeur, qui a permis de remédier aux pénuries de blé, fréquentes en hiver, est commémoré par les sesterces de Néron datant de 64 ap. J.-C.. Cette monnaie représente un port identifiable grâce à sa légende AVGVSTI POR(TVS) OST(IENSIS) S(ENATVS) C(ONSVLTV) indiquant le « Port ostien d'Auguste, par décret sénatorial ». Il s'agit d'une vue synthétique mais très évocatrice de Portus par l'accumulation de symboles reconnaissables [2]. La partie gauche de la monnaie représente la partie sud du port de Claude avec des structures monumentales à colonnades disposées en forme semi-circulaire. Il s'agit très probablement des bâtiments de stockage. Leur position sur le môle facilitait non seulement le transport, le chargement/déchargement et le stockage du grain, mais ils occupaient également une place prépondérante dans la morphologie urbaine du paysage portuaire. Ces entrepôts de stockage avaient également un but de propagande puisqu'ils faisaient également la publicité de la richesse de l'Empire. Des portiques ornaient les façades des entrepôts afin de mettre en valeur leur architecture et monumentaliser l'espace urbain. La partie droite de la monnaie représente la jetée nord sur *pilae*. C'est un symbole courant dans l'iconographie portuaire qui symbolise la connaissance des ingénieurs romains et la prouesse technique de construire en mer grâce à un mortier hydraulique à base de pouzzolane (cette technique est décrite par Vitruve dans *De Architectura*, Chap. V, 12). Les motifs de *pilae* semblent être plus que des structures utilitaires puisqu'ils sont devenus l'un des symboles majeurs du port romain. Ce motif a été décliné sur un bon nombre de représentations portuaires.



**Fig. 2.** Sesterce de Néron frappé en 64 à Rome.

Dérivés d'un genre pictural apparu au premier siècle et marqués par l'influence du modèle de Portus, inauguré en 64, les motifs portuaires se sont multipliés et déclinés sur différents supports artistiques tout au long de l'époque impériale romaine. Ils sont, en effet, aussi bien représentés sur des petits objets mobiles - comme les monnaies (3 cm), les pierres gravées (1.5 cm), les médaillons de lampes à huile (diamètre de 7-10 cm env.) et les flacons de verre - que sur des supports immobiles tels que les mosaïques (entre 41 cm et 11 m), les reliefs et les fresques, offrant des champs plus larges à décorer.

Le « vase de Prague », figurant ci-dessous, faisant partie d'une série de flacons de verre, très probablement produits en Campanie à la fin du IIIe-début du IVe siècle, est un des plus intéressants documents du corpus. Il constitue un véritable « trésor documentaire » puisqu'il représente une ville portuaire identifiable par l'inscription PVTIOLI (Puteoli, Pouzzoles moderne) et fournit des indications topographiques précieuses. Encore une fois, l'accumulation des symboles reconnaissables met en avant le caractère monumental du

paysage urbain et atteste l'existence d'infrastructures qui a pu être vérifiée par les recherches archéologiques (exemple de la jetée sur piles). Cette image correspond certes au standard d'un modèle urbain qui peut être mis en parallèle avec la peinture de Stabies mais aussi à une certaine réalité avérée dans la mesure où certains éléments du paysage de Puteoli sont encore visibles aujourd'hui (e.g. amphithéâtre) ou attestés par d'autres sources. Par exemple, l'existence du SACOMA(RIUM), lieu de pesée, est confirmé par l'épigraphie [14].



Fig. 3. Dessin du décor représentant le paysage portuaire de Puteoli sur un flacon de verre. Musée national de Prague, n° 137. Fin du IIIe-début du IVe siècle.

### 3.2 Le potentiel documentaire des images anciennes

L'examen du corpus iconographique montre l'impossibilité de traiter comme des instantanés de réalité des images hautement codifiées et met en évidence les stéréotypes d'un paysage portuaire idéal dans ses composantes monumentales et humaines. Il permet de jeter les bases d'une analyse des codes de représentation et des stéréotypes attachés à l'image du port, ce qui crée un préalable à l'utilisation de ce corpus à des fins documentaires de nature historique.

Considérer les images comme sources historiques est un concept assez récent puisque l'art, longtemps considéré comme étant simplement illustratif, n'occupait qu'une place marginale dans les études de l'histoire ancienne. Les images peuvent apporter, en effet, une contribution importante pour l'étude de l'aspect architectural et urbain des principaux ports de Méditerranée car elles montrent des élévations de bâtiments portuaires aujourd'hui disparues.

L'enjeu principal de ce travail est lié toutefois à l'interprétation de ces images. Il est nécessaire de rappeler qu'elles ne retranscrivent pas fidèlement la « réalité ». Elles relèvent parfois de l'imaginaire ou bien sont soumises à l'interprétation de l'artisan, à des conventions artistiques, des tendances ou encore aux exigences du commanditaire<sup>6</sup>. Le type de représentation dépend également des contraintes du support et l'artisan doit ainsi adapter son langage iconographique<sup>7</sup>. Par exemple sur les monnaies, dont l'espace à décorer est relativement restreint, l'artisan doit utiliser un symbole reconnaissable faisant référence à une idée plutôt que de représenter des détails comme sur les fresques ou les mosaïques dont la surface à décorer est beaucoup plus ambitieuse. D'une manière générale, l'art romain est soumis à une standardisation des formes et on peut constater une certaine répétition des symboles. Comme l'art romain est un système de communication, pour être utilisable, il est nécessaire de stéréotyper les symboles [10]. Ceci explique le caractère assez statique de l'art

<sup>6</sup> Voir Riegl pour la question du *Kunstwollen* (intentionnalité de l'art)

<sup>7</sup> Focillon 1934, p. 8 : « On peut concevoir l'iconographie de plusieurs manières, soit comme la variation des formes sur le même sens, soit comme la variation des sens sur la même forme. »



romain et pourquoi le langage visuel correspond à une standardisation du message visuel souvent issu de répertoires iconographiques déjà connus (exemple des paysages sacro-idylliques, paysages nilotiques etc.).

Comme nous venons de le voir et afin de surpasser les problématiques liées à la crédibilité des images, il est fondamental de croiser les sources iconographiques et d'établir des corrélations avec les textes et les données archéologiques récentes qui permettront de contribuer à des hypothèses de restitutions numériques scientifiquement et historiquement crédibles : c'est ce point précis qu'il va falloir explorer plus avant.

## 4. Les outils numériques, un nouveau départ ?

### 4.1 Un nouveau paradigme

Les outils de conception assistée par ordinateur sont utilisés dans les bureaux d'architecture et de design depuis plus de 30 ans. Encore aujourd'hui, et dans la plupart des cas, ils se comportent plus comme des outils de dessin suréquipés que comme de véritables supports au processus de création. Cependant, depuis quelques années, des modules complémentaires (plug-ins ou bibliothèques dédiées) permettent d'enrichir les environnements logiciels déjà mis en œuvre dans les agences de création : que ce soit dans le domaine du design, de l'urbanisme ou de l'architecture, ces outils peuvent générer et optimiser à la demande une infinité de solutions formelles ou conceptuelles dont la faisabilité ou l'efficacité au regard des contraintes d'entrée seront évaluées, par exemple, par des processus bio-inspirés. Ainsi, les outils de modélisation procédurale ou paramétrique sont désormais largement utilisés pour structurer l'information 3D [17, 18] ; de nombreuses applications existantes exploitent des formalismes particuliers - bases de règles ou grammaires formelles récursives comme les L-Systems [22] - explorent des outils géométriques stochastiques [23] ou s'appuient sur des formalismes bio-inspirés comme les algorithmes génétiques ou les réseaux de neurones [4]. D'autres sont mis en œuvre dans des cadres dédiés, comme cityEngine, à l'aide de langages spécifiques tels que Computer Generated Architecture (CGA) Shape ou Generative Modeling Language (GML) [9], capables de produire des simulacres urbains extrêmement convaincants [29]. Certaines approches abordent le thème de l'éco-conception intégrée aux outils de l'architecte dans la phase intermédiaire entre la conception architecturale ou urbaine [15, 1].



**Fig. 4.** Un outil de restitution et de visualisation adapté au travail de l'archéologue (R. Saleri, MAP-Aria).

D'autres enfin expérimentent des approches capables de simplifier la topologie des objets patrimoniaux enregistrés par photogrammétrie ou lasergrammétrie en exploitant les connaissances géométriques préalables des objets à enregistrer [12] ; ces méthodes ne s'appliquent cependant qu'à des objets patrimoniaux particulièrement bien conservés : c'est le cas par exemple de l'étude en cours au laboratoire MAP sur les plans-reliefs des villes fortifiées françaises des XVII<sup>e</sup> et XVIII<sup>e</sup> siècles, qui ont atteint un état de conservation souvent exceptionnel [1, 6]. Dans le domaine de l'archéologie, la création de simulacres urbains multi-échelles peut répondre au besoin de représenter des réalités urbaines disparues dont on ne trouve aujourd'hui que des traces : au sol, il existe de nombreux vestiges enfouis, témoins de systèmes bâtis érodés par la succession incessante de transformations urbaines répondant aux usages changeants des pratiques sociales et individuelles. La sédimentation qui s'ensuit, empruntant souvent au passé les matériaux disponibles déjà façonnés pour un usage constructif, remue profondément le tissu urbain.

Comme nous l'avons vu plus haut, les témoignages du passé – qu'ils soient iconographiques, textuels ou sous forme de reproductions à l'échelle - ne manquent pas. Ils fournissent des interprétations sans cesse actualisées, donnant à voir avec une relative précision - compte tenu du caractère souvent « personnalisé » de l'interprétation ou de la volonté de glorifier un événement ou un personnage - l'épiderme sensible d'une réalité historique construite ou vécue. Presque toujours, les reconstitutions urbaines sont profondément hétérogènes et remettent en cause les strates historiques dans des proportions inégales en planimétrie comme en altimétrie. Bien sûr, le patrimoine bâti est sans cesse réinventé, un processus de restitution, aussi minutieux qu'il puisse paraître, ne visera qu'à reproduire une petite parcelle, localisée dans l'espace et identifiée dans le temps. La validité d'une reconstitution visuelle dépendra alors de la fiabilité des connaissances existantes. Il arrive que dans un même secteur, certaines zones aient été fouillées, prospectées et documentées alors que d'autres seront ignorées voire inaccessibles : le travail de restitution s'efforcera de matérialiser de manière homogène des connaissances dont la validité scientifique ne peut être garantie au même niveau [28].

Les documents antérieurs auxquels on peut avoir accès ne renseignent pas sur la validité des informations disponibles, qui peuvent être alors et localement très incomplètes : pour montrer une réalité méconnue, on compromet la validité scientifique de l'ensemble de la restitution. Les hypothèses de restitution peuvent ainsi tendre à standardiser l'expression architecturale de la reconstruction urbaine en exploitant un ensemble de règles dont la portée morpho-stylistique n'appartient qu'à une strate historiquement ciblée, comme si les sédiments historiques s'appliquaient de manière homogène à tout un secteur. Pour être fondées, les hypothèses doivent se plier aux variables constructives et expressives d'une période donnée, à la lumière des connaissances disponibles aujourd'hui. Elles doivent également être modifiables à la demande, si les informations détenues à son sujet sont significativement remises en cause à un moment donné. En ce sens, l'éco-système numérique initié à l'occasion de ce projet cherche non seulement à mettre en évidence la traçabilité des entités géométriques produites mais également, dans la mesure du possible, de faciliter le processus de mise à jour qui interviendra inmanquablement à l'occasion de nouvelles découvertes ou de nouveaux apports scientifiques depuis les communautés concernées.

## **4.2 Vers un éco-système numérique pour l'histoire de l'art et l'archéologie**

La construction paramétrique d'objets architecturaux ne suivra pas forcément une logique constructive : dans un souci de simplification opérationnelle et d'ergodicité formelle nous nous attacherons plutôt à produire des entités architecturales recombinaisons à l'infini (nous pourrions presque parler de LEGOS© de haut niveau) sortes de bourgeons géométriques que de simples transformations 3D feront "ressembler à" la plupart des variétés identifiables au

sein du corpus iconographique préalablement classé et – si possible – factorisé. Ces « polytopes » architecturaux incorporeront des modificateurs paramétriques qui permettront d'en nuancer la nature stylistique ou formelle afin de les adapter plus précisément aux variétés planimétriques ou altimétriques rencontrées au gré des situations. On pourra par exemple décrire rapidement un objet architectural en renseignant des champs prédéfinis permettant d'approcher au plus près les caractéristiques constitutives d'éléments architecturaux suivant les trois plans de projection : la façade, la coupe et le plan.

Basés sur des règles, ces modèles visent à décrire l'aspect extérieur des bâtiments qu'ils décrivent. La difficulté consiste à définir un modèle conceptuel servant à décrire le plus finement possible les variétés architecturales rencontrées sans multiplier inutilement le nombre de paramètres impliqués. Au niveau de la façade, par exemple, l'énumération du nombre de travées et d'étages permettra de décrire une immense majorité des cas de figure rencontrés ; il sera pris à défaut en revanche lorsqu'il rencontrera des ruptures d'alignement dans les éléments porteurs, ce qui obligera à changer ponctuellement de stratégie. Si on peut, par leur proximité géographique ou historique, les regrouper en familles nous limiterons alors l'amplitude des différences morpho-stylistiques rencontrées ; de cette façon, face à un tissu historiquement cohérent, il est relativement facile de produire une disparité crédible à travers un crible limité de paramètres : l'expérience montre que pour une architecture "banale", l'écrasante majorité du corpus architectural à reproduire dans le cas d'une ville, une douzaine de règles simples suffiront. En revanche, la description de bâtiments monumentaux (administratifs, politiques, religieux...) nous met en présence d'entités dont la description paramétrique dépasserait largement les capacités descriptives du modèle conceptuel préalablement défini : il faudrait alors multiplier les règles pour décrire finement un objet dont la singularité architecturale serait impossible à cerner avec notre descripteur : il sera plus simple alors soit de recourir à de la modélisation 3D traditionnelle, soit de constituer de nouveaux cribles paramétriques répondant à la demande de chaque famille monumentale. Des travaux plus anciens ont exploré la manière d'exprimer de manière plus structurée la géométrie du bâti patrimonial par une énumération récursive de ses éléments constitutifs : ils exploitent par exemple des formalismes L-system qui permettent de modéliser dans l'espace et dans le temps des phénomènes de croissance moins linéaires et plus proches, nous semble-t-il, des dynamiques de croissance que l'on rencontre dans la réalité notamment dans le domaine du vivant. Leurs propriétés récursives et auto-similaires leur permettront d'être soit affichées avec des niveaux de détail incrémentaux qui pourront être fonction de la distance de l'observateur à l'objet, soit de produire des formes évolutives modélisant par exemple la transformation d'un ensemble bâti au cours du temps. Habituellement employés pour modéliser la croissance des plantes, les L-systèmes s'appuient sur des mécanismes d'axiomes et de règles dont l'expression formelle est facilement applicable aux éléments construits dont le caractère souvent redondant et auto-mimétique répond dans la réalité à un besoin de simplification des processus de fabrication : ils se plient très bien à une décomposition récursive. L'expérience montre que la structuration des variables utilisées ainsi que le jeu de transformations géométriques appliquées en font un générateur 2D et 3D extrêmement efficace. La notion de « réécriture » permet d'effectuer sur une forme de base - ou à chacun de ses composants géométriques - des transformations affines récursives. Appliquée à des germes topologiques spécifiques à l'architecture on obtiendra une infinité de variétés formelles. À l'instar des architectones de Kasimir Malevitch, ils donneront à voir des ersatz architecturaux ou urbains crédibles. Des expériences en cours veulent démontrer la versatilité formelle de ce modèle au service de variétés morphostylistiques les plus disparates [19, 11].

Nous composons les îlots grâce à un outil qui permettra de dessiner en plan le déploiement de types prédéfinis (bâtiments culturels, immeubles de rapport, bâtiments administratifs...) à partir d'un plan urbain affiché éventuellement en arrière-plan. Certains bâtiments, temples, forum, font appel à des primitives géométriques dédiées. Les éléments en élévation,



également issus d'un générateur de combinaisons, acquerront encore plus de variétés lors de la superposition de « couches de façade » distinctes (maçonnerie, baies, éléments en saillie, éléments décoratifs...) chacune desquelles fait appel à des éléments graphiques distincts stockés en mémoire. Le corpus de ces éléments graphiques est d'ailleurs appelé à s'étoffer au gré des observations à venir sur les corpus iconographiques qui viendront enrichir les connaissances déjà constituées.



**Fig. 5.** Intégration des processus génératifs au niveau de la façade et de l'îlot (R. Saleri, MAP-Aria).

### 4.3 Un cas d'étude préalable : Portus et le bassin de Trajan

Une mise en application pratique de cette approche concerne l'étude effectuée en 2018 autour du port de Portus et plus particulièrement sur la restitution du panorama architectural autour du bassin de Trajan, datant du début du II<sup>e</sup> siècle. L'accent a été mis sur la restitution d'un bâti historiquement plausible, à la lumière des connaissances actuelles sur l'habitat vernaculaire de la période historique concernée. Peu d'éléments physiques nous sont parvenus, mais la proximité géographique du parc archéologique d'Ostie, remarquablement bien conservé en élévation, permet de se faire une idée assez précise de l'aspect extérieur et des techniques de construction en vogue à cette époque. Pompéi et Herculaneum, dramatiquement bien conservées malgré l'événement cataclysmique qui a causé leur perte, permettent à travers les âges une vision assez précise des méthodes de construction mises en œuvre durant la période antique. La littérature scientifique regorge de travaux qui mettent en images le cadre de vie à l'époque romaine et, dans une moindre mesure, le monde de la bande dessinée contribue marginalement à la création d'un imaginaire collectif largement partagé. En revanche, la restitution à grande échelle nécessite une utilisation extrêmement rigoureuse des connaissances disponibles, éminemment transversale dans la mesure où elle doit souvent combiner des données disponibles dans les domaines de l'urbanisme, de l'architecture, de la topographie, de l'hydrographie, qui ont pu traverser les âges de manière plus que chaotique.

Les aquarelles de Jean-Claude Golvin, qui n'ont pas manqué d'interroger en profondeur la mise en lumière raisonnée de connaissances inégalement documentées, juxtaposent avec pertinence les éléments les plus connus (fouillés, documentés, publiés... ) aux hypothèses d'un tissu urbain organisé selon des règles établies mais dont la réalité est souvent plus spéculative qu'établie de manière scientifiquement attestée, constituent autant de points d'appui localisés pour le travail de restitution proprement dit, auxquels seront rattachés les bourgeons physiques des *urbs* antiques, qui s'adosseront aux vestiges visibles ou documentés des traces antiques.

Les travaux de restitution s'appuieront ainsi sur l'ensemble des connaissances acquises à un moment donné. Ils dépendront de l'avancement des travaux de fouilles ou des recherches documentaires effectuées. Elles peuvent être très hétérogènes au sein d'un même site, ce qui pourrait compromettre localement la validité d'une restitution en 3D. La destination d'une zone peut également être extrêmement globale, il s'agira alors de disposer d'outils pour partitionner le parcellaire en tenant compte des règles dimensionnelles couramment utilisées à la période à laquelle on s'intéresse.



**Fig. 6.** Hypothèse de restitution du complexe portuaire de Portus (R. Saleri et R. Fabro, MAP-Aria).

## 5 Conclusions et perspectives

Ce projet, mobilisant une communauté scientifique pluridisciplinaire, a pour objectif de s'interroger sur la nature de l'écosystème numérique à mettre en place afin de faire revivre le contexte de l'histoire maritime dans l'Antiquité et d'étudier le rapport entre l'espace portuaire réel, l'espace vécu et l'espace imaginaire. En ce sens il s'agira de définir un ensemble de mesures permettant de rendre accessibles les outils et les documents mis en œuvre lors des campagnes d'étude en normalisant les formats de fichier, en simplifiant les structures de données utilisées et en les rendant - dans la mesure du possible - éditables et ajournables. Bien sûr nous ne pouvons pas prévoir l'arrivée d'une technologie qui remettra en question en profondeur les pratiques opérationnelles aujourd'hui consolidées dans le domaine de la valorisation et de la diffusion des connaissances. Il reste que l'accompagnement régulier des opérations de fouilles réalisées périodiquement avec un outil développé avec et pour les utilisateurs finaux pourrait servir de base de réflexion à la mise en place d'une sorte d' « Operational Time Capsule » pour le patrimoine qui prendrait appui sur des plateformes collaboratives à l'étude au MAP, et l'enrichirait d'un environnement de travail qui garantirait la mise en cohérence des contributions et la répétabilité des interventions au cours du temps.

## Références

1. C. Chevrier. Semiautomatic Parametric Modelling of the Buildings on Town Scale Models. In : *J. Comput. Cult. Herit.* **7**, n° 4, p. 20:1–20:20 (2015)
2. M.J. Cuyler. Portus Augusti: The Claudian Harbour on Sestertii of Nero. In : *Art in the Round: New Approaches to Coin Iconography*, pp. 121–134. Tübinger Archäologische Forschungen 16 (2014)
3. H. Focillon. *Vie des formes*. Paris, France: E. Leroux (1934)
4. E. Fons, M. Janda, R. Kiesgen et R. Saleri. City blocs design with the aid of interactive evolutionary computation. In: *The URBAG project background International Conference on Computers & Industrial Engineering*, Troyes, France (2009)
5. J. Gielis. A generic geometric transformation that unifies a wide range of natural and abstract shapes. In : *American journal of botany.* **90**, n° 3, pp. 333–338 (2003)
6. A. Gros, K. Jacquot et T. Messaoudi. Knowledge-Based Framework for Automatic Semantisation and Reconstruction of Military Architecture on City-Scale Models. In: *International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*. Copernicus GmbH. pp. 369-375 (2019)

7. J.-C. Golvin. À propos de la restitution de l'image de Puteoli. Correspondances, ancrage, convergences. In : *Roma illustrata. Représentations de la ville*, pp. 157–174. Caen: Presses Universitaires de Caen (2009)
8. G. Halin, C. Chevrier, K. Jacquot, P. Humbert, P. et S. Ben Bouheni. Virtual 3D reconstruction of Plans-Reliefs from historical document analysis for valorisation applications. In: *Proceedings of the 2nd International Conference on Digital Heritage* (2015)
9. S. Haegler, P. Muller et L. Van Gool. Procedural Modeling for Digital Cultural Heritage. In : *EURASIP Journal on Image and Video Processing*. **2009**, n° 1, p. 852392 (2009)
10. T. Hölscher. *The Language of Images in Roman Art*. Translated by Anthony Snodgrass and Annemarie Künzl-Snodgrass. Cambridge ; New York: Cambridge University Press (2004)
11. W. Jabi. *Parametric design for architecture*. London : Laurence King (2013)
12. K. Jacquot, C. Chevrier et G. Halin. Reverse Engineering of Scale Models Using Dataflow Programming: Application to the Fortification of Plans-Reliefs. In : *Digital Heritage International Congress* (2013)
13. S. Maillieur. Les machines employées dans les activités portuaires : une approche épigraphique et iconographique, In : *Autour des machines de Vitruve. L'ingénierie romaine : textes, archéologie, restitution*. Caen, 2015. Presses Universitaires de Caen, pp. 147-159 (2017)
14. S. Maillieur. *Imagining Roman Ports. The Contribution of Iconography to the Reconstruction of Roman Mediterranean Portscapes of the Imperial Period*, thèse de doctorat, University of Southampton, projet ERC *Rome's Mediterranean Ports – PortusLimen* (2014-2017) (2020)
15. P. Marin, X. Marsault, R. Saleri, G. Duchanois, et J.-C. Bignon. L'Eco-Conception Générative : Une illustration de la pensée complexe. In : *SCAN 2012: Séminaire de Conception Architecturale Numérique* (2012)
16. T. Messaoudi et P. Véron. Toward an Ontology for Annotating Degradation Phenomena. In : *Proceedings of the 2nd International Conference on Digital Heritage*. Grenade, Espagne : IEEE (2015)
17. P. Muller, G. Zeng, P. Wonka et L. Van Gool. Image-based Procedural Modeling of Facade. In : *Proceedings of ACM SIGGRAPH 2007* (2007)
18. P. Muller, P. Wonka, S. Haegler, A. Ulmer et L. Van Gool. Procedural modeling of buildings. In : *Proceedings of ACM SIGGRAPH 2006* (2006)
19. Y. Parish, P. Muller, Procedural Modeling of Cities, In: *Proceedings of the 28<sup>th</sup> annual conference on Computer graphics and interactive techniques* (2001)
20. M. Reddé et J.-C. Golvin. *Voyages sur la Méditerranée romaine*, Arles : Actes sud Errance (2005)
21. A. Riegl. *Late Roman art industry*. translated from the original Viennese edition with foreword and annotations by Rolf Winkes, Roma, Italie: G. Bretschneider (1985)
22. R. Saleri, F. Orsucci et N. Sala. Automatic Processing of architectural and Urban Artifacts. In : *Reflexing Interfaces: the complex coevolution of information technology ecosystems*. Orsucci F. end Sala N. editors. IGI Group. Hershey, PA (2008)
23. R. Saleri. Pseudo-Urban automatic pattern génération. In : *International Nonlinear Sciences Conference 2003* (2003)
24. R. Saleri. Génération automatique de morphologies architecturales et urbaines. In : *Architectures, Urbanisme et Géométries* (2004)

25. R. Saleri. Urban and Architectural 3-D Fast Processing. In : *Reflexing Interfaces: The Complex Coevolution of Information Technology Ecosystems*. IGI Global. p. 278–289 (2008)
26. R. Saleri. Alter EVO: an interactive evolutionary computation tool for instant architecture processing, In: *10th International conference on generative art*, Milan, Italie (2007)
27. R. Saleri. City blocs design with the aid of interactive evolutionary computation. The URBAG project background. In : *International Conference on Computers & Industrial Engineering*. IEEE. p. 1712–1715 (2010)
28. C. Schinko, M. Strobl, T. Ullrich et D. Fellner. Modeling Procedural Knowledge: A Generative Modeler for Cultural Heritage. In : *Proceedings of EuroMed 2010, 8th Digital Heritage*. Cyprus, Limassol. p. 153–165 (2010)
29. P. Wonka, M. Wimmer M, F. Sillion et W. Ribarsky, Instant Architecture, In: *ACM Transactions on Graphics*, **22**, Issue 3, pp 669–677 (2003)