



## Modéliser les dynamiques spatiales, temporelles et fonctionnelles du tissu urbain implanté sur l'amphithéâtre antique de Tours, en plan, en volume A partir du sujet de thèse : *Formation et transformation d'un tissu urbain. De l'amphithéâtre antique au quartier canonial dans la Cité de Tours (5e - 18e s.)*

*Bastien Lefebvre, Doctorant à l'université François-Rabelais de Tours, Laboratoire Archéologie et Territoires, UMR 6173 – CITERES, MSH Villes et Territoires*

### 1 - Introduction

Traditionnellement l'étude des villes dans la longue durée consiste à créer des jeux de cartes topographiques à différentes époques (carte de la ville au haut Empire, au 9<sup>e</sup> s., au 14<sup>e</sup> s, etc.). Ce type de représentation se heurte à deux problèmes principaux pour l'archéologue qui veut travailler sur la fabrique d'une ville. D'abord le découpage est toujours construit *a priori*, fondé sur des connaissances historiques de la ville qui ne renvoient pas toujours à une réalité matérielle pertinente. Ensuite, il faut constater que ces cartes ne représentent que des instantanés, rarement des phénomènes longs ayant une durée : les dynamiques spatiales s'envisagent alors d'une manière empirique en comparant visuellement ces cartes.

Afin de pallier ces manques, un article paru en 2004 dans la revue *Histoire & Mesure* propose un système de modélisation spatiale dans le but de travailler plus spécifiquement sur les dynamiques spatiales des villes préindustrielles (GALINIE, RODIER et SALIGNY 2004). En s'inspirant de la méthode théorique proposée par cet article, un Système d'Information Géographique (SIG) a été mis en place dans une étude consacrée à la formation et la transformation d'un tissu urbain, depuis l'amphithéâtre antique jusqu'à la fin du quartier canonial dans la Cité de Tours (soit du 1<sup>er</sup> au 18<sup>e</sup> s.). Cette application est réalisée à l'échelle du parcellaire, l'analyse s'effectue sur le tissu urbain de quelques îlots et non sur l'ensemble de la ville. L'étude s'appuie essentiellement sur des données architecturales et nécessite d'adapter la méthode à la problématique intrinsèque au sujet. Elle nécessite également une adaptation pour pouvoir travailler autant dans l'espace plan qu'en volume.

### 2 - Présentation du cadre historique et spatial de la recherche

L'amphithéâtre antique de Tours est certainement un des plus grands de Gaule : de type massif<sup>1</sup>, son importance dans la ville était telle qu'au Bas Empire il fut transformé en place forte. C'est sans doute cette transformation qui a favorisé à son emplacement la construction de l'enceinte du *castrum*, celle-ci venant prendre en tenaille l'amphithéâtre fortifié qui lui servait alors d'accès méridional (GALINIE (dir.) 2007). Enfin la ville du haut Moyen Age, puis le quartier cathédral avec son réseau de rues et de constructions a peu à peu colonisé l'ancien amphithéâtre tout en conservant intacte une grande partie des maçonneries de l'édifice. Malgré sa réaffectation, la forme de l'amphithéâtre est aujourd'hui rémanente dans le tissu urbain ; beaucoup de structures sont toujours conservées, entremêlées dans l'accumulation de différentes constructions elles-mêmes anciennes. Ce double état de fait est particulier si on le compare aux autres villes d'origine antique, où l'amphithéâtre n'a que rarement guidé, autant qu'à Tours, la formation d'une partie du tissu urbain (Fig. 1).

---

<sup>1</sup> Les amphithéâtres de type massif sont des édifices composés d'une série de structures maçonnées qui maintiennent un énorme remblai de terre. A Tours l'amphithéâtre devait être dépourvu de gradins maçonnés, les spectateurs s'installaient sans doute sur une pente gazonnée au mieux sur des gradins en bois.



Fig. 1. Vue aérienne du quartier implanté sur l'amphithéâtre à Tours. Cliché Solaire Photo.

En confrontant les différentes sources disponibles (notamment le bâti), l'objectif est ici de comprendre la formation de la ville à l'échelle d'un quartier en prenant en compte les particularités du lieu, puisque celui-ci est compris dans trois éléments fortement marqueurs de l'histoire de la Cité de Tours : l'amphithéâtre, le *castrum* et le quartier canonial.

Les objectifs de cette étude réalisée à méso-échelle sont alors multiples :

- comprendre l'articulation entre la ville antique et médiévale, en observant en particulier les différentes étapes de la formation du tissu urbain médiéval sur un édifice public antique,
- expliquer l'état de fait particulier de l'amphithéâtre de Tours : sa forte rémanence dans le tissu urbain actuel,
- étudier les dynamiques spatiales, temporelles et fonctionnelles d'un quartier de la ville de manière diachronique. Quelles fonctions urbaines changent le plus ? à l'inverse lesquelles sont les plus pérennes ? où et quand les transformations se passent-elles ? qui agit ?

### 3 – Définition d'un objet d'étude pour la ville et le tissu urbain

Au terme d'une série d'articles et d'ouvrages consacrés à l'appréhension de la ville par les archéologues, l'Entité Fonctionnelle (EF) fut retenue comme l'objet d'enregistrement des données pertinent à l'échelle de la ville<sup>2</sup>. Elle fut définie comme « toute réalisation humaine ou tout élément naturel modifié ou non présent au sol à un moment donné, interprétable fonctionnellement et participant du paysage urbain ». En reprenant un principe propre aux géomaticiens (THERIAULT et CLARAMUNT 1999), H. Galinié propose dans un essai consacré à la ville que pour être valide chaque entité étudiée doit répondre à trois questions fondamentales (GALINIÉ 2000) :

- sa localisation (où se trouve-t-elle ?)
- sa datation (de quand à quand existe-t-elle ?)
- son interprétation (qu'est-ce que c'est ?)

Il faut toutefois rappeler que chaque entité est conçue pour un usage précis, elle est utilisée, puis réutilisée ou réaffectée à des usages successifs, ensuite elle peut être soit détruite soit conservée en tant que monument (SCHIFFER 1987). Parfois même elle est déplacée. Afin de travailler sur les

<sup>2</sup> Pour une synthèse consulter : GALINIE, RODIER et SALIGNY 2004

transformations urbaines, chaque entité doit être rigoureusement définie par ces trois attributs (espace, temps, fonction), si l'un d'eux change, il est nécessaire de recréer une nouvelle entité.

Il fut également proposé de s'appuyer sur les travaux du Centre National d'Archéologie Urbaine (CNAU) pour définir la fonction de ces entités (Fig. 2) : depuis 1990, plusieurs séries de rubriques fonctionnelles ont été mises en place, elles permettent de décrire de manière pertinente les données topographiques des villes préindustrielles.

- |  |  |
|--|--|
| 1. Voirie, aménagements                  | 5. Lieux d'inhumation                            |
| 11. voies, rues                          | 51. aire funéraire                               |
| 12. espaces libres                       | 52. cimetière paroissial                         |
| 13. aménagements des berges              | 53. lieu d'inhumation particulier                |
| 14. aménagements du relief               |  |
| 15. franchissements                      | 6. Lieux de commerce, artisanat, production      |
| 16. adduction d'eau                      | 61. commerce, échanges, boutiques                |
| 17. collecteurs, évacuation              | 62. artisanat, ateliers                          |
| 18. monuments, vestiges                  | 63. agriculture, élevage                         |
| 19. édifice monumental indéterminé       | 64. manufacture, établissement industriel        |
|  | 65. extraction, carrières                        |
| 2. Structures défensives et militaires   | 7. Formation naturelles                          |
| 21. système défensif urbain              | 71. littoral                                     |
| 22. structures fortifiées                | 72. cours d'eau (alluvions)                      |
| 23. garnisons, casernements              | 73. marécage                                     |
|  | 74. colluvionnements                             |
| 3. Constructions civiles                 | 8. Autres  |
| 31. espaces publics                      | 81. indéterminé                                  |
| 32. pouvoir civil, justice               | 82. absence d'occupation attestée                |
| 33. éducation, culture                   | 83. abandon                                      |
| 34. santé                                |  |
| 35. spectacles, sports                   | 9. Hors urbain                                   |
| 36. bains, thermes                       | 91. établissement complexe sans caractère urbain |
| 37. habitat                              | 92. structure périphérique                       |
| 4. Édifices religieux                    |  |
| 41. cultes païens                        |  |
| 42. édifices culturels catholiques       |  |
| 43. bâtiments conventuels ou monastiques |  |
| 44. bâtiments ecclésiastiques            |  |
| 45. cultes autres que catholiques        |  |
| 46. églises paroissiales                 |  |

Fig. 2. Valeurs urbaines (1 à 9) et valeurs d'usage (11 à 92) d'après la grille du Centre Nationale d'Archéologie Urbaine (GALINIE, RODIER et SALIGNY 2004).

Toutefois, si l'entité fonctionnelle est pertinente à l'échelle de la ville, elle ne permet pas de travailler à l'échelle de la parcelle ou de l'îlot et un nouvel objet adapté à cette échelle d'étude est nécessaire. Cet objet d'étude qui fut nommé Élément Constitutif (EC), se définit comme une subdivision de l'EF (Fig.3), mais présente les mêmes caractéristiques (LEFEBVRE 2006). Il s'agit d'un type particulier d'occupation de l'espace : ce sera la cour, le jardin ou le logis qui sont des aménagements différents (EC) au sein d'un habitat (EF).

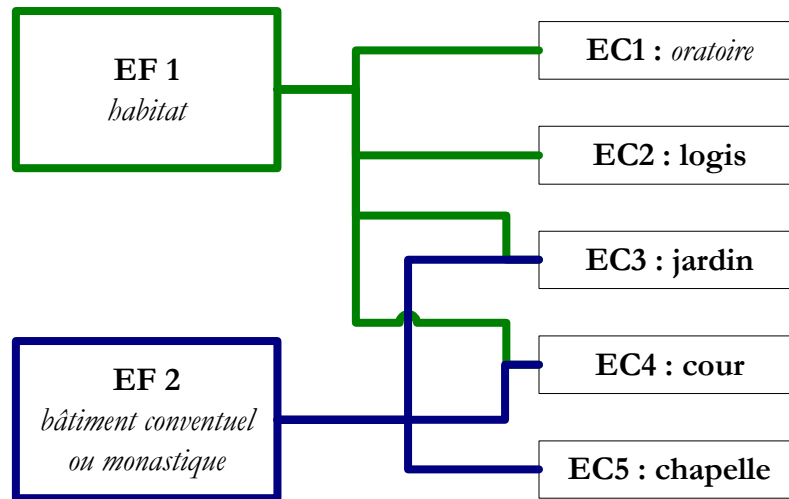


Fig. 3. Exemple d'organisation possible entre les entités fonctionnelles (EF) et leurs valeurs d'usage et les éléments constitutifs (EC) et leurs fonctions.

Contrairement aux EF il n'existe pas encore pour les EC de liste prédéfinie d'interprétation. Celle-ci varie en fonction de la nature du tissu urbain étudié. La liste est construite en fonction du type de site étudié et des problématiques de la recherche.

#### 4 – La modélisation spatiale

Le recours à la modélisation spatiale est rapidement apparu essentiel pour à la fois répondre aux différentes questions déjà évoquées (articulation amphithéâtre/quartier canonial, rémanence de l'amphithéâtre, dynamiques urbaines), mais aussi pour gérer un volume d'informations important.

##### 4.1. La méthode HBDS

C'est la modélisation en HBDS (*Hypergraph Based Data Structure*) qui fut retenue. Cette méthode est due à F. Bouillé qui dans sa thèse : *Un modèle universel de banque de données simultanément portable, répartie* (BOUILLE 1977) présente une modélisation reposant sur la théorie des graphes (BERGE 1958) et des hypergraphes, ainsi que sur la théorie des ensembles<sup>3</sup>. Cette modélisation concerne « d'une part la structure des données, leur gestion, leur archivage, leur mise à jour, et d'autre part la structuration de l'information spatiale et aspatiale (thématique). Ces nouvelles approches sont apparues suite à un constat que les méthodes de type relationnel mises au point et utilisées dans le domaine de la gestion ne permettaient pas de prendre en compte d'une façon satisfaisante l'aspect géographique des « objets » c'est à dire, entre autres, la référence spatiale (longitude, latitude, type d'emprise, forme, voisinage...) comme composante intégrante de l'objet et non comme de simples attributs de l'objet » (PIROT et SAINT-GERAND 2005). Ainsi, pour prendre en compte les propriétés géographiques des objets, l'espace est découpé en graphes planaires topologiques sans isthme<sup>4</sup>.

##### 4.2 Le modèle conceptuel de données

L'étape de la création du modèle conceptuel de données (MCD) est essentielle et permet de faire le lien entre la problématique de l'étude et la construction du Système d'Information Géographique (SIG) (SAINT-GERAND 2005).

La construction du modèle conceptuel de données permet de schématiser le fonctionnement d'un phénomène particulier. Ici, pour modéliser la construction d'un tissu urbain, quatre niveaux ont été défini :

<sup>3</sup> Cette théorie consiste à utiliser la notion d'ensemble décrite par une collection d'objet dit « éléments » ; le sous-ensemble est alors une partie d'un tout, elle appartient à cet ensemble. En langage HBDS on parle de classes et d'hyperclasses.

<sup>4</sup> « Un graphe G est planaire s'il est possible de le représenter sur un plan de sorte que les sommets soient des points distincts et les arcs des courbes simples ne se rencontrant pas en dehors de leur extrémité. Un graphe planaire topologique est une représentation d'un graphe G sur un plan. Un graphe planaire topologique sans isthme est un graphe planaire topologique sans arc pendant » (définition issue de *Histoire & Mesure*, 2004, t. XIX-3/4).

celui de la documentation, celui des données historiques pertinentes, celui des objets spatiaux et enfin celui des objets géométriques.

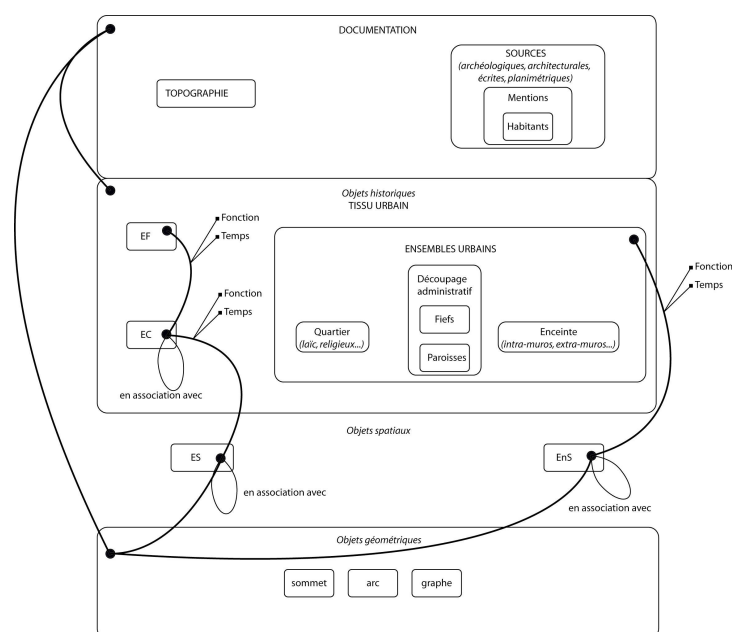


Fig. 4. Le modèle conceptuel de données (ici pour plus de lisibilité, seules les valuations des relations sont figurées).

Le schéma est composé de classes et d'hyperclasses : les *éléments constitutifs* (EC) ou les *entités fonctionnelles* (EF) forment par exemple chacun une classe ; en revanche, le *Tissu urbain* est composé des EF, des EC et des EU (*ensembles urbains*) : il constitue alors une hyperclasse. Ces classes et hyperclasses sont réunies par des liens spatiaux ou sémantiques. Comme les classes, ces derniers peuvent être caractérisés par des valuations ou attributs.

#### 4.3 Les dimensions et le découpage des objets géographiques (entités spatiales)

##### 4.3.1 Les différentes dimensions des objets

Le modèle conceptuel de données fait donc appel à trois types d'objets : les objets historiques (EC, EF, EU) qui ont déjà été présentés, les objets géométriques (sommets, arcs, et graphes) qui sont inhérents à la théorie des graphes, enfin les objets spatiaux ES (Entités Spatiales)

Cette dernière catégorie d'objet correspond à la représentation graphique des objets historiques et est définie dans le paragraphe suivant (§ 4.3.2). La problématique de l'étude ainsi que le type de données mobilisées dans la longue durée (qu'il s'agisse de données issues de topographie physique ou de données architecturales) demandent à travailler sur deux types distincts de représentation de ces objets historiques. Ainsi, un découpage en deux sous-types d'ES s'est avéré nécessaire pour matérialiser les objets historiques (Eléments Constitutifs). Avant de présenter dans le détail ces deux sous-types d'objets, il faut préciser qu'il fut choisi, vues les particularités du site de l'étude et des sources, de travailler dans un univers 3D (défini par les axes X, Y et Z). Cet univers est commun aux deux sous-types d'ES qui, complémentaires l'un à l'autre, fonctionnent en fait comme une représentation à deux échelles des objets historiques (EC) (cf. Fig. 5).

Dans un premier temps, il est nécessaire de pouvoir travailler sur les maçonneries qui composent le site (notamment pour travailler sur le remploi). Les Entités Spatiales correspondent alors à des portions d'espace occupées par de la maçonnerie et sont des objets 3D, où 3 axes -ou dimensions- sont nécessaires pour localiser les sommets (x, y et z) les uns par rapport aux autres. Ainsi un logis (objet historique, EC) sera constitué d'une combinaison d'ES (objets géographiques en volume) qui associées formeront les murs de ce logis (cf. § 4.3.2). Ce type de représentation ne peut évidemment pas être étendu à tous les Eléments Constitutifs. En effet, un jardin, une cour ou une rue n'occupent pas un volume dans l'espace mais une surface (2D). Ce type de représentation des EC ne permet toutefois pas de travailler



sur l'espace plan, puisque par exemple le logis sera représenté par ses murs et non son emprise au sol, l'intérieur du logis serait alors paradoxalement vide.

Dans un second temps, afin précisément de pouvoir travailler sur les dynamiques spatiales en plan, ce sont les plans masses des bâtiments et non plus leurs plans détaillés qui doivent être modélisés. Il s'agit alors d'un changement d'échelle, où le volume du bâtiment n'apporte aucun renseignement utile à l'analyse : la représentation en 2D suffit.

A ces deux sous-types d'objet s'ajoute un autre type aux dimensions propres : c'est celui du Modèle Numérique de Terrain. Ce MNT diachronique est constitué à partir de multiples sommets (couple  $x,y$ ) qui sont datés (date de début et de fin) et qui présentent chacun une valeur  $z$ . Il est alors possible d'obtenir à un temps  $t_1$  ou  $t_2$  les MNT du site, puis de les comparer (calcul de volume par différence) ; il s'agira alors d'objets 2,5 D c'est-à-dire sans épaisseur (LARRIVEE, BEDARD et POULIOT 2006 : 15).

Toutefois, il peut s'avérer utile de travailler par exemple sur les pentes d'un jardin ou de construire le profil d'une rue. Chaque combinaison d'ES 2D (*i.e.* un EC) est alors drapée sur un MNT contemporain de l'objet historique. On parlera alors à propos des EC (et non plus des ES) d'objet 2,5 (puisque les altitudes ne sont pas des propriétés de construction des ES, mais des attributs historiques aux EC).

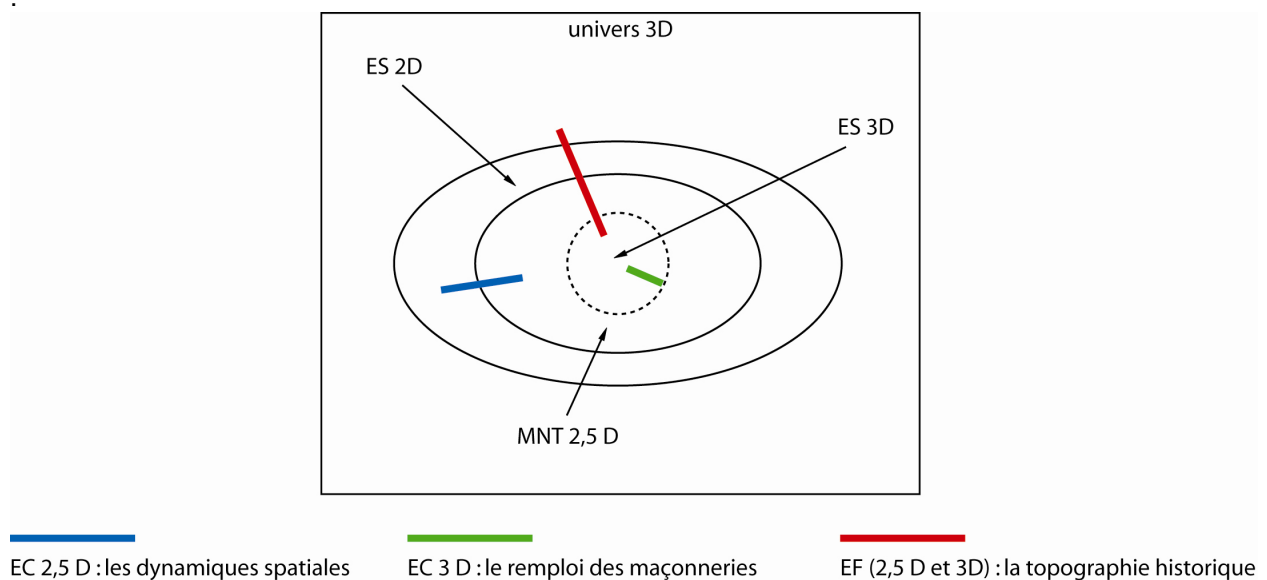


Fig. 5. Schéma représentant les différentes dimensions d'objets sollicitées par les trois principaux thèmes d'analyse effectués à partir du modèle.

La coexistence de ces deux sous-types d'ES entraîne une certaine forme de redondance. En effet, un même EC représenté par une combinaison d'ES 3D sera également obligatoirement représenté par une série d'ES 2D. La figure 5 montre que les deux thèmes d'analyse spatiale envisagée (bleu et vert) ne prennent jamais en compte simultanément les deux sous-types d'ES. Il ne s'agit donc pas d'une redondance d'information, mais bien de deux systèmes envisagés chacun à une échelle qui lui est propre.

#### 4.3.2 Le découpage des Entités Spatiales

Il s'effectue en découpant l'espace en portion (Entités Spatiales) selon la forme des objets historiques (les Eléments Constitutifs), mais aussi selon la trajectoire propre dans le temps de tout ou parties de ces objets historiques. Il n'existe donc pas de redondance graphique possible entre ces ES (aucune superposition n'est permise) : il s'agit véritablement de graphes planaires topologiques sans isthme (cf. *supra*).

L'application en volume d'une telle méthode semble peu courante. Dans ce travail elle est pourtant nécessaire pour modéliser le bâti. La relative simplicité de la méthode permet en fait une adaptation aisée du principe au volume. Les ES 3D qui modélisent les espaces maçonnés sont gérées d'une manière identique aux ES 2D ; on propose alors non plus de parler de graphes mais de « solides topologiques ». Là encore les solides ne peuvent pas s'interpénétrer les uns aux autres ; ils sont construits selon des règles topologiques. La figure 5 présente un exemple de modélisation des EF en ES 3D. Dans ce schéma, 1 fut créé par ce qu'il appartient uniquement à A, 2 par ce qu'il appartient à la fois à

A et à B, et 3 par ce qu'il n'appartient qu'à B. Ainsi l'ES ne peut renvoyer à aucune réalité historique : dans la figure 5, il n'est pas possible de définir ce qu'est l'ES 2. L'entité spatiale ne peut donc porter aucun attribut.

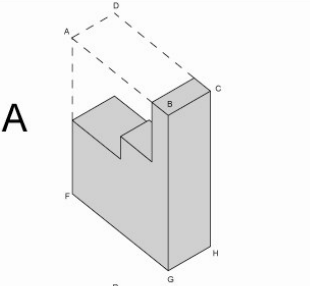
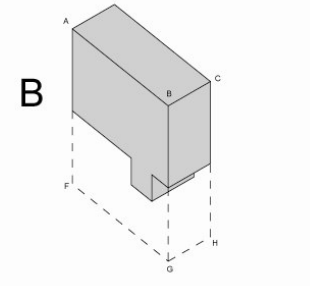
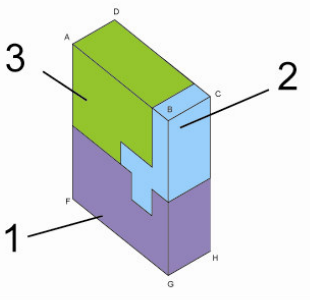
<p>éléments constitutifs définis par fonction / espace / temps</p>	 <p>A</p>  <p>B</p>
<p>découpage en entités spatiales</p>	 <p>3</p> <p>2</p> <p>1</p>
<p>relations</p>	<p>1 - A 2 - A 2 - B 3 - B</p>
<p>mise en place de combinaisons</p>	<p><math>A = 1 + 2</math> <math>B = 2 + 3</math></p>

Fig. 5. Principe de rapport entre EC en ES

Les valuations sont portées directement sur les relations qu'entretiennent Entités Spatiales et Eléments Constitutifs : c'est l'association de l'un à l'autre qui à un sens historique (GALINIE, RODIER et SALIGNY 2004), l'ES en soit ne correspond alors qu'à une partie de l'espace (plan ou volume) achronique. Les analyses thématiques porteront donc sur ces relations.

## 5 - Premiers résultats

### 5.1 La construction physique du modèle sous SIG

L'implémentation de ce modèle a été réalisée dans le logiciel ArcGis 9.1. Ce logiciel de SIG fonctionne selon la méthode « orientée objet », il permet dans sa version ArcEditor/ArcInfo d'implémenter un modèle conceptuel de données. Le terme ESRI alors utilisé est celui de « géodatabase ».

### 5.2 Les données mobilisées

L'acquisition des données reste une démarche longue puisque chacune des 24 maisons réparties sur l'ancien amphithéâtre (1,7 ha) doit être analysée. En effet, hormis les recherches effectuées sur l'amphithéâtre lui-même, l'histoire architecturale du site n'a jusqu'à présent jamais fait l'objet d'investigations ; ce travail passe donc aussi par l'étude archéologique du bâti de chacune des maisons (LEFEBVRE 2004). Relevés, fiches d'enregistrement et diagrammes sont alors nécessaires afin de restituer et d'interpréter au mieux les différents états architecturaux reconnus (cf. Fig. 8).

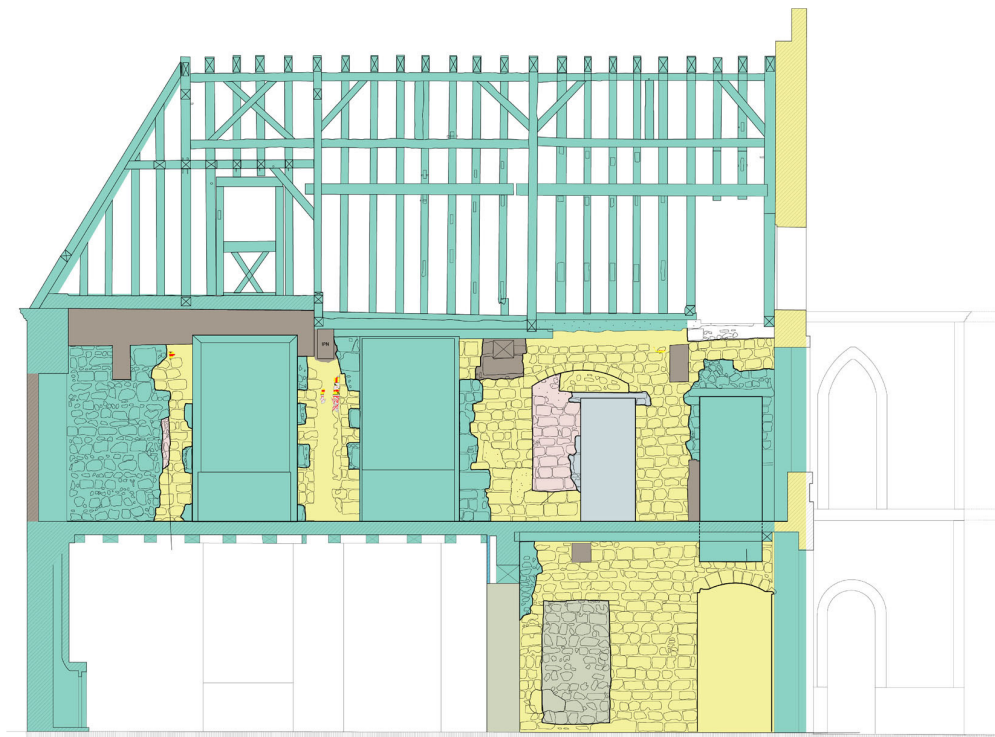


Fig. 8. Exemple de résultat d'étude archéologique du bâti (corps de logis 1 au 7 rue de la Bazoche).

Les cours, les jardins, les rues et tout ce qui compose le tissu urbain doivent également être étudiés le plus finement possible. L'archéologie du bâti, mais aussi les sources écrites, planimétriques, iconographiques, les sondages ou les données des fouilles archéologiques sont pris en compte afin de créer les EC selon les trois critères déjà énoncés (localisation, fonction et datation). Ceux-ci nécessitent d'être renseignés de manière homogène et pertinente à l'échelle du tissu urbain. Or, la finesse des renseignements fournis par les différentes sources n'est pas toujours suffisante pour que ceux-ci puissent être intégrés au système. Chaque indice ne permet pas toujours de créer un élément constitutif : par exemple, la mention contenue dans la pièce 277 (datée d'avril 1252/1253) du *Liber compositionum Ecclesiae Turonensis* (BNF : Nou. Acq. Lat., Ms 1183), n'est pas assez précise pour être utilisée à l'échelle du tissu urbain :

*Fulco Fetmau miles vendidit venerabilibus decano et capito Turonensis tres solidos et sex denarios censuales quos habebat scilicet duos solidos super domo que vocatur Le Tou que fuit defuncti Jouberti Licant sita inter scalam domus sue site in claustro Turonensi et domum ubi manet Gaufridus thesaurarius Turonensis.*

Foulques Fetmau, chevalier, a vendu aux vénérables Doyen et chapitre de Tours trois sous et six deniers de cens qu'il percevait, à savoir : deux sous pour la maison qui est appelée "Le Tou" et qui appartenait au défunt Joubert Licant située entre l'escalier de sa maison située dans la cloître de Tours et la maison où demeure Gaufridus trésorier de Tours.

En effet, à partir de ce texte, il n'est pas possible de situer de manière suffisamment pertinente à l'échelle du tissu urbain la maison mentionnée : il n'est donc pas possible de créer à partir de cette unique source un EC correspondant. Sans pour autant être exclus de l'étude générale ces renseignements ne peuvent pas être intégrés dans le SIG et ne participent pas aux analyses spatiales.



### 5.3 Les différents types d'analyses possibles

Actuellement, même si l'acquisition des données n'est pas terminée, il est toutefois possible de présenter un premier aperçu des résultats. Trois grands thèmes d'analyse spatiale se révèlent possibles : Le premier permet de manière simple de travailler sur la topographie du site, il est ainsi possible de faire des requêtes croisées sur les attributs ou propriétés des EC (localisation, datation, fonction) et d'obtenir des cartes ou des vues en volume d'un thème particulier. Par exemple chercher à connaître l'état du site en 1400, ou la surface moyenne des jardins au 17<sup>e</sup> s...

La structuration de l'information permet aussi d'avoir recours à deux thèmes d'analyse des dynamiques de l'espace en volume ou en plan.

En plan, à partir des ES 2D, il est possible de rendre compte des transformations des natures de l'occupation. La constitution du modèle et l'organisation particulière des données permet en effet de travailler sur la persistance des fonctions des EC dans l'espace, c'est-à-dire par exemple, chercher là où les transformations fonctionnelles ont été les plus fortes (cf. Fig. 9).

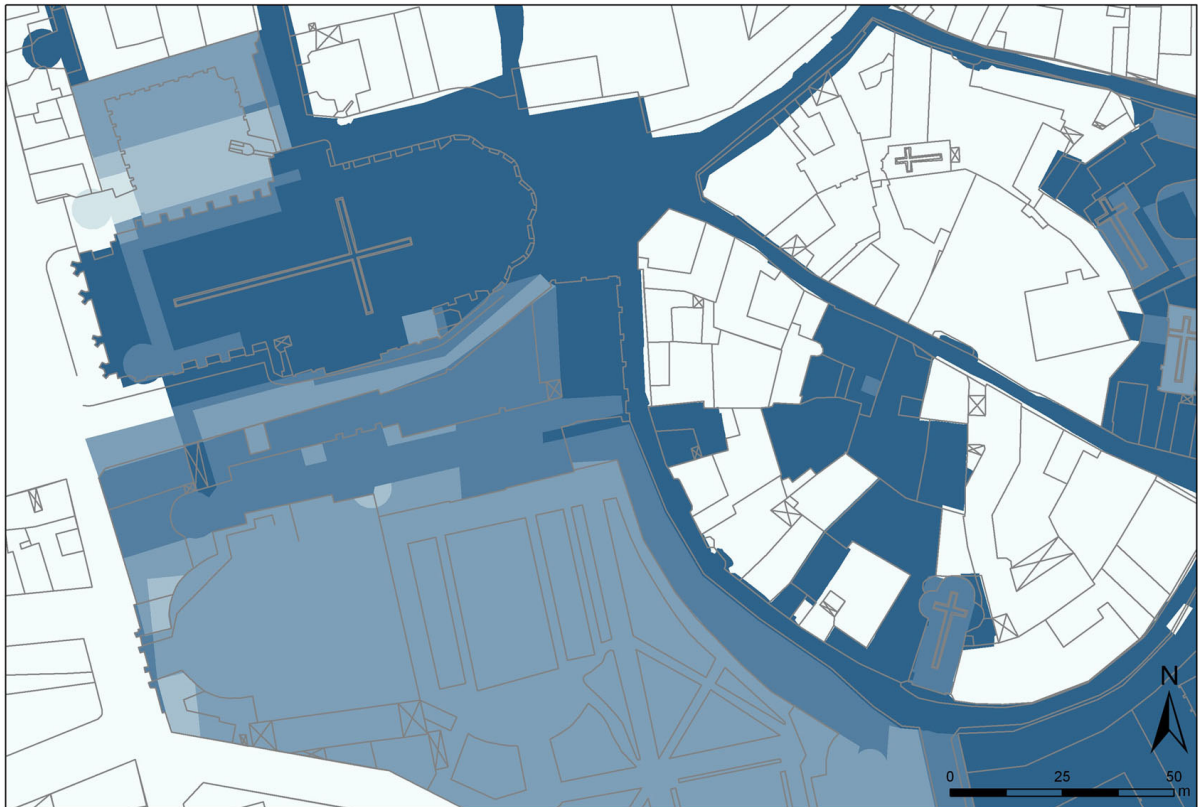


Fig. 9. Représentation en plan de la persistance (du plus foncé au plus clair) des fonctions des EC dans le temps (en blanc : non documenté).

Il est par exemple possible d'obtenir une représentation des entités spatiales 3D les plus sollicitées dans le temps, c'est-à-dire l'importance du remploi des espaces maçonnés (cf. Fig. 10).

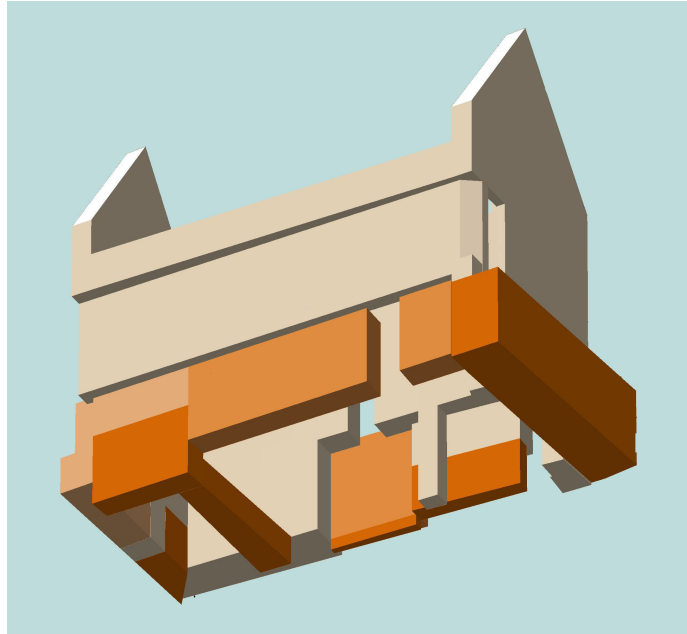


Fig. 10. Représentation en volume du remplissage (du plus foncé au plus clair) plus ou moins important des maçonneries du corps de bâtiment 1 du 12 rue du Général Meusnier

#### 5.4 Les limites de l'implémentation

Ainsi, une fois implémenté, ce modèle devient un outil efficace et propice aux thèmes de l'analyse spatiale. Pourtant sur quelques points, l'implémentation se heurte à des limites liées à la conception du logiciel lui-même. En effet, c'est dans le champ de l'application 3D que sous différents aspects la construction informatique du SIG ne permet pas de traduire rigoureusement le modèle conceptuel.

D'abord, il concerne la modélisation des entités EF 3D et s'explique par la modernité de ce type d'approche. En effet, l'essor des SIG étant assez récent, les développements se sont jusqu'à présent essentiellement penchés sur l'analyse spatiale en plan (2D ou 2,5D) comme le soulignent S. Larrivée, Y. Bédard et J. Pouliot « les applications actuelles du SIG 3D étant très rudimentaires, il n'existe pas à notre connaissance d'extension spatiale 3D pour les formalismes de modélisations de base de données puisque l'expression des besoins en ce sens est vraiment récente » (LARRIVEE, BEDARD et POULIOT 2006 : 10). Ainsi, le logiciel ESRI ArcEditor/ArcInfo 9.1 est-il limité dans la gestion des objets 3D. En effet, même s'il est possible de créer des volumes (cf. Fig. 10), leur construction n'est possible qu'à partir d'objets géométriques 2,5 D (points, lignes, surfaces) extrudés. Différentes formes ne sont alors pas réalisables (sphères, cônes, objets aux faces irrégulières...) et les résultats obtenus sont sommaires : les voûtes, les arcs n'étant par exemple pas modélisables (cf. Fig. 10).

Ensuite, et le problème est lié, le véritable écueil vient du fait que le logiciel ne considère pas les ES 3D comme de véritables solides. En effet, la valeur d'extrusion est un attribut de l'objet et non une propriété : le volume n'est donc pas pris en compte, seule la base de l'ES 3D est gérée de manière topologique (c'est-à-dire un objet 2,5 D). Ainsi la notion de solide topologique développée dans le paragraphe 4.3.2 n'existe pas dans le logiciel, celui-ci ne gère pas la topologie 3D. Ici, il ne s'agit que d'une forme de visualisation.

#### 5.5 L'interprétation des résultats

Même si l'acquisition de données est en cours, et que les premiers résultats présentés dans le paragraphe précédent ne peuvent pas être interprétés historiquement, il est toutefois possible de conclure à la validité du modèle : celui-ci, une fois implémenté permet en effet de répondre efficacement aux objectifs qui sont les siens. Cependant, une attitude prudente reste de mise face à l'exploitation des résultats : par exemple, la carte de la figure 9 doit être pondérée par la fréquence d'utilisation ou de renseignement, plus ou moins importante, des ES. La carte suivante (Fig. 11) montre en effet que les ES sont renseignées de manière très hétérogène. Ainsi, dans l'état actuel des connaissances, les rues ne sont documentées qu'à partir de la fin du 18<sup>e</sup> s. (date des premiers cadastres), tandis que l'espace où se trouve la cathédrale est renseigné à partir du 4<sup>e</sup> s. Or, ces deux espaces apparaissent de couleur identique sur la carte précédente. Cette carte (Fig. 9) n'est pas fautive mais elle ne prend pas en compte

l'hétérogénéité des sources où certains espaces sont documentés sur des périodes d'inégale durée, avec parfois même des hiatus.



Fig. 11. Représentation des portions d'espace (ES) les plus sollicitées dans le temps (du plus clair au plus foncé ; en blanc : non documenté).

D'une autre manière, il faut aussi rester prudent face à la représentation en 3D, celle-ci est sommaire, l'enjeu n'étant pas de chercher à représenter fidèlement la réalité mais bien d'obtenir sur une longue durée une vision des dynamiques spatiales (le rempli).

## 6 - Conclusion

Cet article retrace donc les étapes de la mise en place et de l'application d'une modélisation construite selon la méthode HBDS. Celle-ci est destinée à travailler en plan sur les transformations du tissu urbain à l'échelle du parcellaire, mais aussi en 3D à l'échelle du bâti. Les premiers résultats permettent de valider cette approche pour l'étude de la ville dans la longue durée. La facilité d'utilisation et de manipulation de l'outil informatique permet alors de créer rapidement une documentation véritablement inédite de cartes, ou des vues du site en 3D. Toutefois il faut rester vigilant face à ces représentations ; il faut connaître précisément le mode opératoire de leur réalisation, afin de rester conscient des problèmes dus aux effets de sources qui restent les principaux problèmes auxquels l'archéologue qui travaille sur la ville dans la longue durée est confronté.

## Bibliographie

BERGE 1958

Berge C.- *Théorie des Graphes et ses applications*, Paris, Dunod

BOUILLE 1977

Bouillé F.- *Un modèle universel de banque de données simultanément portable, répartie*, Thèse d'État ès sciences (spécialité : mathématiques, mention : informatique), Université Pierre et Marie Curie-Paris VI

GALINIE 2000

Galinié H. - *Ville, espace urbain et archéologie*, Maison des Sciences de la ville, de l'urbanisme et des paysages. Tours, Université François-Rabelais de Tours

GALINIE (dir.) 2007

Galinié H. (dir.) - *Tours antique et médiéval. Lieux de vie, temps de la ville*, Tours, FERACF.

GALINIE, RODIER et SALIGNY 2004

Galinié H., Rodier X. et Saligny L. - Entités fonctionnelles, entités spatiales et dynamique urbaine dans la longue durée, *Histoire & Mesure*, t. XIX-3/4 : 223-242

LARRIVEE, BEDARD et POULIOT 2006

Larrivée S., Bédard Y. et Pouliot J. - Fondement de la modélisation conceptuelle des bases de données géospatiales 3D, in : *Revue internationale de Géomatique*, volume 16, n°1/2006 : 11-27

LEFEBVRE 2004

Lefebvre B. - Une maison du quartier cathédral de Tours (Indre-et-Loire) : évolution architecturale et technique de construction, *Revue Archéologique du Centre de la France*, 43 : 223-246.

LEFEBVRE 2006

Lefebvre B.- Construction et déconstruction de l'espace urbain : une modélisation en volume du bâti ancien, *MIA Journal*, VII 2006, volume 0, num. 2 : 53-58

< <http://www.map.archi.fr/mia/journal/> > [09/01/07]

PIROT et SAINT-GERAND 2005

Pirot F. et Saint-Gérard T. - La Géodatabase sous ArcGIS, des fondements conceptuels à l'implémentation logicielle, *Géomatique Expert*, Février-Mars 2005, n° 41/42 : 62-66

SAINT-GERAND 2005

Saint-Gérard T. - Comprendre pour mesurer... ou mesurer pour comprendre ? HDBS : pour une approche conceptuelle de la modélisation géographique du monde réel, in : GUERMOND Y. (dir.) - *Modélisations en géographie. Déterminisme et complexité*, Hermès Science, Paris : 261-298

SCHIFFER 1987

Schiffer M. B. - *Formation Processes of the Archeological Record*, Albuquerque, University of New Mexico Press

THERIAULT et CLARAMUNT 1999

Thériault M. et Claramunt C. - La représentation du temps et des processus dans les SIG : une nécessité pour la recherche interdisciplinaire, *Représentation de l'espace et du temps dans les SIG, Revue internationale de géomatique*, 9. 67-99