

DYNAMIQUES SPATIALES DANS LA LONGUE DUREE : DU TISSU URBAIN AU BÂTI, DECONSTRUCTION DE L'ESPACE EN PLAN ET EN VOLUME

Bastien Lefebvre

Doctorant au Laboratoire Archéologie et Territoires,
UMR 6173 – CITERES, Université François-Rabelais de Tours
bastienlefebvre@wanadoo.fr

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.)

Mots-clés :

3D, amphithéâtre, archéologie urbaine, dynamiques spatiales, modèle HBDS, SIG, Tours

Résumé :

Pour travailler sur les dynamiques spatiales du tissu urbain implanté sur l'amphithéâtre antique de Tours, une réflexion doit être envisagée sur l'organisation des données mobilisées. Isolées, celles-ci (essentiellement architecturales) permettent en effet d'obtenir des renseignements significatifs mais ponctuels sur les occupations antérieures du site. L'analyse spatiale doit donc porter sur une mise en commun de ces informations. La modélisation des données selon la méthode HBDS apparaît comme une solution tout à fait efficace. Une déconstruction géographique des données historiques et archéologiques est alors nécessaire. Cette étape fondamentale permet en effet non seulement de rendre compte d'états successifs mais aussi des dynamiques spatiales.

Cet article présente à la fois le modèle conceptuel de la modélisation, mais aussi l'application rare de la méthode à des données 3D. L'implémentation du modèle sous SIG, ainsi que les premiers résultats issus de l'analyse spatiale sont également présentés et critiqués.

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^e s., 14^e s...). 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 et non des phénomènes longs ayant une durée : les dynamiques spatiales s'envisagent alors d'une manière empirique en comparant ces cartes.

Afin de pallier à ces manques, un article paru en 2004 dans la revue *Histoire & Mesure* propose un système de modélisation spatiale dans le but de pouvoir travailler plus spécifiquement sur les dynamiques spatiales des villes préindustrielles (Galinié, Rodier et Saligny 2004). En s'inspirant de la méthode théorique proposée par cet article, un 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^{er} au 18^e s.). Cette application réalisée à plus grande échelle (le tissu urbain) 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 : son importance dans la ville était telle qu'au bas Empire il fut intégré à l'enceinte, lui servant alors de bastion avancé. Dès lors l'édifice, inscrit dans le *castrum*, fut recouvert par le tissu urbain : 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'amphithéâtre. Malgré sa réaffectation, l'édifice est aujourd'hui rémanent 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 (cf. Fig. 1).



Fig. 15. 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 création 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 Tours : l'amphithéâtre, le *castrum* et le quartier canonial.

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

1. 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,
2. expliquer l'état de fait particulier de l'amphithéâtre de Tours : sa forte rémanence dans le tissu urbain actuel,
3. 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 cela se passe-t-il ? 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'étude pertinent à l'échelle de la ville (pour une synthèse : Galinié, Rodier et Saligny 2004). En reprenant un principe défini par les géomaticiens (Saint-Gérard 2005 ; Thériault et Claramunt 1999), dans un essai consacré à la ville, H. Galinié propose 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 est important de noter que pour travailler sur les transformations urbaines chaque entité doit être rigoureusement définie par ces attributs, si l'un d'eux change, il est nécessaire de recréer une nouvelle entité.

Si l'entité fonctionnelle est pertinente à l'échelle de la ville, elle ne permet pourtant pas de réfléchir à l'échelle du tissu urbain ou de l'ilot, puisque l'interprétation de ces entités correspond aux valeurs d'usages définies à l'échelle de la ville par les travaux du Centre National d'Archéologie Urbaine (CNAU). Ainsi, un nouvel objet plus adapté à l'étude du tissu urbain a été créé : l'Elément Constitutif (EC). Il se définit comme une subdivision de l'EF (Fig.2). Il s'agit d'un type particulier d'occupation de l'espace : il s'agira de la cour, du jardin ou du logis qui sont des aménagements différents au sein d'un habitat (EF) (Lefebvre 2006 : 54).

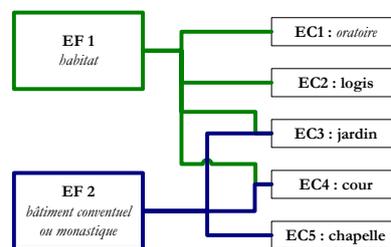


Fig. 2. Exemple d'organisation possible entre les entités fonctionnelles (EF) et leurs valeurs d'usage et les éléments constitutifs (EC) et leurs fonctions

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 modélisation spatiale : 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* (Bouillé 1977) présente une modélisation reposant sur la théorie des graphes²⁸ et des hypergraphes, ainsi que sur la théorie des ensembles²⁹. 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 » (Pirrot et Saint-Gérard 2005 ; Saint-Gérard 2005). Ainsi pour prendre en compte les propriétés géographiques des objets l'espace est découpé en graphes planaires topologiques sans isthme³⁰.

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) (Pirrot et Saint-Gérard 2005 ; Saint-Gérard 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 : celui de la documentation, celui des données historiques pertinentes, celui des objets spatiaux et enfin celui des objets géométriques.

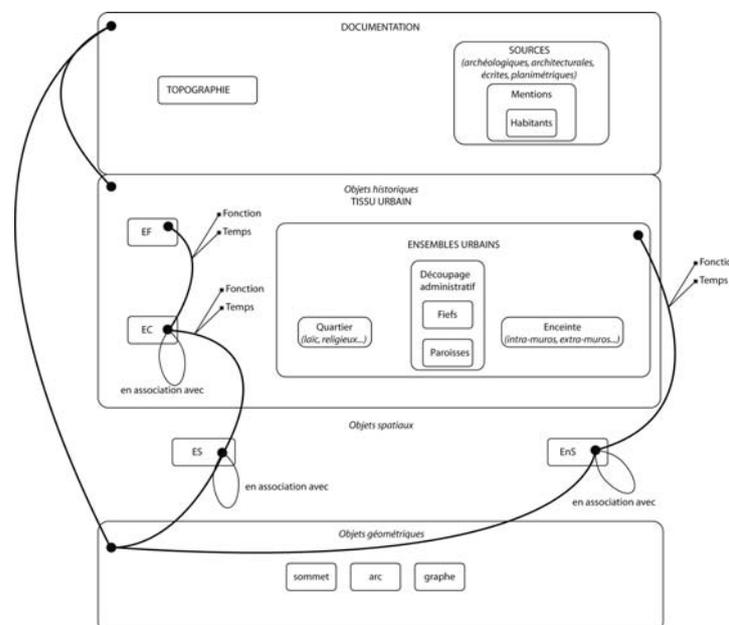


Fig. 3. Le modèle conceptuel de données (ici pour plus de lisibilité, seules les valuations des relations sont figurées). Le schéma est composé de classes et d'hyperclasses. Les *éléments constitutifs* (EC) ou les *entités fonctionnelles* (EF) forment par exemple chacun une classe. En revanche, le *Tissu urbain* est composé des EF, des EC et des Eu (*ensembles urbains*) : il constitue alors une hyperclass. 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 :

1. les objets historiques (EC, EF, EU) qui ont déjà été présentés,

²⁸ Développée par C. Berge (Berge 1958)].

²⁹ 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.

³⁰ « 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).

2. les objets géométriques (sommets, arcs, et graphes) qui sont inhérents à la théorie des graphes,
3. enfin les objets spatiaux ES -Entités Spatiales- (et les EnS -Ensembles Spatiaux)

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 (EC). 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. 4).

- Dans un premier temps, il est nécessaire de pouvoir travailler sur les maçonneries qui composent le site (notamment pour travailler sur le remploi). Les ES 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 EC. 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, 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 multiple 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 t1 ou t2 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 (Larrivée, Bédard 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).

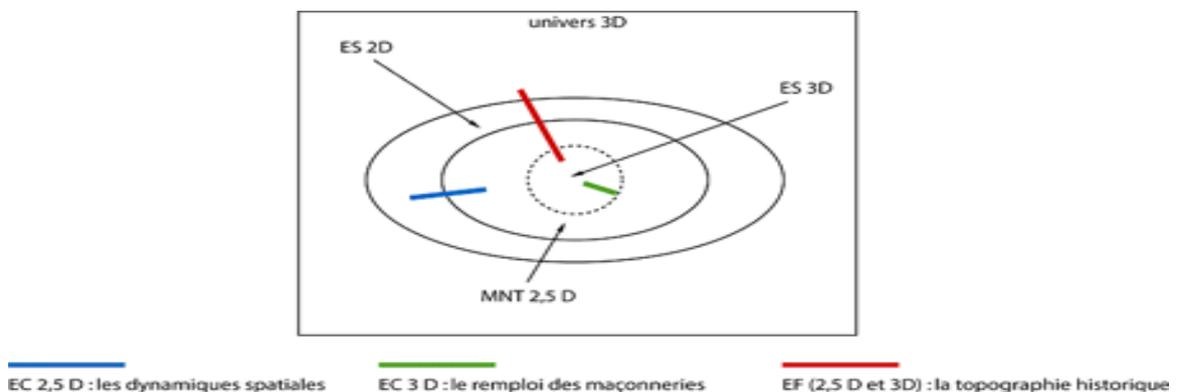


Fig. 4. Schéma représentant les différentes dimensions d'objets sollicitées par les trois principaux thèmes d'analyse effectués à partir du modèle.

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 4 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 ES

Il s'effectue en découpant l'espace en portion (ES) selon la forme des objets historiques (les EC), 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 ne parlera toutefois plus 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.

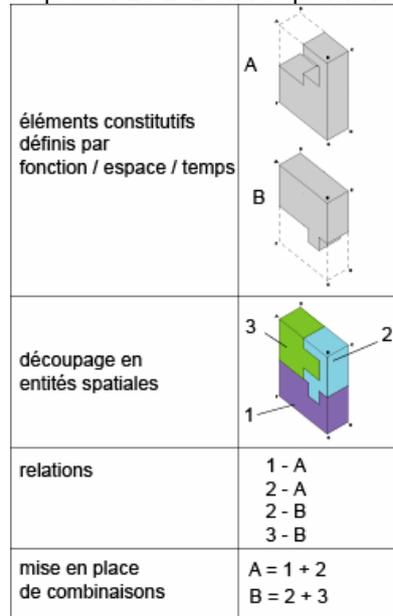


Fig. 5. Principe de rapport entre EC en ES

Les valuations sont portés directement sur les relations qu'entretiennent ES et EC : c'est l'association de l'un à l'autre qui à un sens historique (Galinié, 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, une gamme de produit ESRI. Ce logiciel de SIG (Système d'Information Géographique) 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 L'interrogation des données

L'acquisition des données reste une démarche longue. Chacune des 24 maisons réparties sur l'ancien amphithéâtre (1,7 ha) doit être étudiée afin de restituer et d'interpréter les états antérieurs (cf. Fig. 8). Actuellement même si l'acquisition des données est en cours, il est néanmoins possible de présenter un aperçu des résultats.



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

Le système peut être appliqué à trois grands thèmes d'analyse (Fig. 4).

1. 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^e 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.

2. 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. 9).

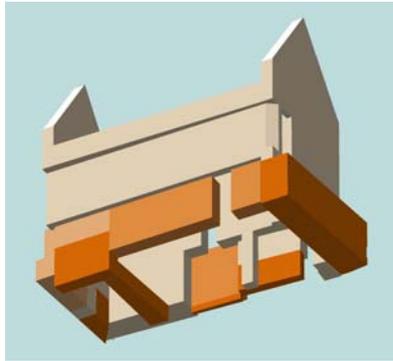


Fig. 9. Représentation en volume du remploi (du plus foncé au plus clair) plus ou moins important des maçonneries du corps de bâtiment 1 du 12 rue du Général Meusnier

3. En plan, à partir des ES 2D, il est possible de rendre compte des dynamiques urbaines. 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. 10).



Fig. 10. Représentation en plan de la persistance (du plus foncé au plus clair) des fonctions des EC dans le temps (en blanc : non documenté).

5.3 Les limites de l'implémentation

Même si l'acquisition de données est en cours et que les résultats obtenus ne peuvent pas être interprétés dans l'état, il est possible de conclure en soulignant qu'une fois implémenté le modèle permet de répondre efficacement aux objectifs qui sont les siens. Toutefois, lorsqu'on cherche à modéliser des objets 3D, sous différents aspects, l'application du système sous SIG ne peut pas correspondre rigoureusement au modèle conceptuel. Ces écarts sont inhérents à la conception du logiciel lui-même :

- 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 » (Larrivée, Bédard 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. 8), 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. 8).

- 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.

6 – Conclusion

Ce travail 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 dynamiques spatiales à l'échelle du tissu urbain, mais aussi en 3D à l'échelle du bâti. Les premiers résultats obtenus permettent de valider cette approche neuve pour l'étude de la ville dans la longue durée. Toutefois l'application 3D représente un enjeu récent et pose encore quelques problèmes d'application qui n'entravent cependant pas l'objectif principal du modèle. Ce dernier permet en effet d'obtenir sur une longue durée une vision des dynamiques de l'espace, ceci afin de mieux appréhender la formation puis la transformation du tissu urbain implanté sur l'amphithéâtre antique de la ville de Tours.

Références bibliographiques

Berge 1958

C. Berge – *Théorie des Graphes et ses applications*, Dunod, Paris 1958

Bouillé 1977

F. Bouillé – *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, Paris 1977

Galinié 2000

H. Galinié – *Ville, espace urbain et archéologie*, éd. Maison des sciences de la ville, de l'urbanisme et des paysages, Université François-Rabelais de Tours, Tours 2000

Galinié, Rodier et Saligny 2004

H. Galinié, X. Rodier et L. Saligny – Entités fonctionnelles, entités spatiales et dynamique urbaine dans la longue durée, in : *Histoire & Mesure*, 2004, t. XIX-3/4, pp. 223-242

Larrivée, Bédard et Pouliot 2006

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

Lefebvre 2006

B. Lefebvre – Construction et déconstruction de l'espace urbain : une modélisation en volume du bâti ancien, in : *MIA Journal*, volume 0, VII 2006, num. 2, pp. 53-58
<http://www.map.archi.fr/mia/journal/>

Pirot et Saint-Gérand 2005

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

Saint-Gérand 2005

T. Saint-Gérand – Comprendre pour mesurer... ou mesurer pour comprendre ? HBDS : pour une approche conceptuelle de la modélisation géographique du monde réel, in : Y. Guermont – *Modélisations en géographie. Déterminisme et complexité*, Hermès Science, Paris 2005, pp. 261-298

Thériault et Claramunt 1999

M. Thériault et C. Claramunt – La représentation du temps et des processus dans les SIG : une nécessité pour la recherche interdisciplinaire, in : *Représentation de l'espace et du temps dans les SIG*, *Revue internationale de géomatique* 9, 1999, pp. 67-99