



HAL
open science

Modélisation des objets historiques selon la fonction, l'espace et le temps pour l'étude des dynamiques urbaines dans la longue durée

Xavier Rodier, Laure Saligny

► To cite this version:

Xavier Rodier, Laure Saligny. Modélisation des objets historiques selon la fonction, l'espace et le temps pour l'étude des dynamiques urbaines dans la longue durée . *Cybergeo : Revue européenne de géographie / European journal of geography*, 2010, Systèmes, Modélisation, Géostatistiques = Systems, Modelling, Geostatistics = Sistemas, Modelística, Geoestadísticas, <http://cybergeo.revues.org/23175>. halshs-00777988

HAL Id: halshs-00777988

<https://shs.hal.science/halshs-00777988v1>

Submitted on 6 Jun 2017

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

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



Modélisation des objets historiques selon la fonction, l'espace et le temps pour l'étude des dynamiques urbaines dans la longue durée

Modeling historical objects based on social use, space and time in order to study urban dynamics in large time span

Xavier Rodier et Laure Saligny



Édition électronique

URL : <http://cybergeo.revues.org/23175>

DOI : [10.4000/cybergeo.23175](https://doi.org/10.4000/cybergeo.23175)

ISSN : 1278-3366

Éditeur

UMR 8504 Géographie-cités

Ce document vous est offert par Centre national de la recherche scientifique (CNRS)



Référence électronique

Xavier Rodier et Laure Saligny, « Modélisation des objets historiques selon la fonction, l'espace et le temps pour l'étude des dynamiques urbaines dans la longue durée », *Cybergeo : European Journal of Geography* [En ligne], Systèmes, Modélisation, Géostatistiques, document 502, mis en ligne le 17 juin 2010, consulté le 06 juin 2017. URL : <http://cybergeo.revues.org/23175> ; DOI : [10.4000/cybergeo.23175](https://doi.org/10.4000/cybergeo.23175)

Ce document a été généré automatiquement le 6 juin 2017.

© CNRS-UMR Géographie-cités 8504

Modélisation des objets historiques selon la fonction, l'espace et le temps pour l'étude des dynamiques urbaines dans la longue durée

Modeling historical objects based on social use, space and time in order to study urban dynamics in large time span

Xavier Rodier et Laure Saligny

Les auteurs remercient Henri Galinié initiateur de ce travail, Bastien Lefèvre et Françoise Pirot pour leurs commentaires sur les versions antérieures de cet article, Pascal Chareille et Lahouari Kaddouri pour leurs critiques constructives. Ce travail a bénéficié de la richesse des échanges au sein du réseau thématique pluridisciplinaire Modélisation des dynamiques spatiales (RTP MoDyS, <http://modys.univ-tours.fr>).

Introduction

- 1 Notre objectif est la compréhension d'un système complexe dans la longue durée : l'espace urbanisé ancien. Il se définit archéologiquement par l'addition ou la soustraction de zones d'occupation dense d'une ville, des origines au milieu du XIX^e siècle. Il forme une figure irrégulière en taille et en épaisseur où la concentration des vestiges est élevée (Laurent 2007).
- 2 Le recours aux systèmes d'information pour l'étude des villes dans la longue durée doit autoriser :
 - le croisement d'informations et de sources qui sont par définition lacunaires et hétérogènes,
 - l'évaluation de la documentation disponible,
 - la représentation multiple d'une même réalité (Ruas 2002).

- 3 Pour atteindre cet objectif, la première étape consiste à identifier et formaliser l'Objet Historique (OH) que nous retenons comme élément de base pour appréhender l'espace urbanisé ancien. Ensuite, nous caractérisons et modélisons cet OH en tenant compte de son inscription dans trois dimensions : la fonction, l'espace et le temps (long). Enfin, nous proposons une modélisation conceptuelle des objets historiques (le Schéma Conceptuel de Données OH-FET) qui sera utile à la constitution de systèmes d'information géo-historique devant permettre :
- une lecture verticale et horizontale des phénomènes (que se passe-t-il à telle époque ? quelle sont les transformations de tel lieu ?),
 - la conservation de la nature propre de chaque lieu, à savoir leurs mutations fonctionnelles, temporelles et spatiales,
 - une non-redondance des informations pour faciliter les analyses et la gestion des données.
- 4 La modélisation proposée est le résultat de trois étapes clés qui ont rythmé notre démarche.
- 5 La première est celle de la formalisation des objets de la topographie historique (Rodier 2000 ; Galinié, Rodier 2002). Il s'agit d'une approche résolument fonctionnelle de la ville (Heighway 1972 ; Biddle, Hudson 1973 ; Lepetit 1988 ; Galinié 2000). La priorité est la caractérisation des objets constituant le paysage urbain dans un espace support (Pumain 1993, p. 137-139). La méthodologie mise en œuvre est liée aux modes de classification archéologique et à la culture des bases de données relationnelles.
- 6 La deuxième est la prise en compte des propriétés spatiales des objets historiques. Il s'agit d'une modélisation géographique des entités archéologiques (Saligny 2004 ; Galinié, Rodier, Saligny 2004). Elle est fondée sur une approche géographique de l'espace urbain (Galinié 2000) dans la perspective d'une analyse des dynamiques spatiales. Elle correspond à l'appropriation par les archéologues de certains concepts de la géographie et de l'utilisation des systèmes d'information géographique (SIG).
- 7 La troisième est l'isolation du temps dans les processus spatio-temporels afin de ne plus l'assujettir à l'espace (Rodier, Saligny 2007, 2008, Rodier *et al.* 2010). Il s'agit en quelque sorte de la réappropriation du temps par les archéologues/historiens dans l'analyse des dynamiques spatiales. L'objectif est de permettre une analyse distincte du temps et de l'espace. L'approche repose sur une analogie entre la modélisation et le traitement de l'espace et du temps avec comme référence la formalisation de la topologie des intervalles temporels en intelligence artificielle (Allen 1984).
- 8 Ainsi, nous exposerons la spécificité de la dimension temporelle en préalable à la formalisation et la modélisation des objets historiques.

La question spécifique du temps

- 9 La prise en compte du temps dans les systèmes d'information géographique se traduit par de nombreux travaux en géomatique selon deux approches, une première mathématique et informatique (Le Ber , Ligozat, Papini 2007), une seconde issue des sciences sociales (Frank, Raper, Cheylan 2001 ; Raper 2001, p. 13-20 ; Frank 2001, p. 21-34). Dans les deux cas, l'objectif est de proposer des modélisations de processus spatio-temporels. Toujours selon ces deux approches, le temps est associé au mouvement ou au changement d'état, le plus souvent pour des durées courtes. Ces travaux sont utilisés pour gérer l'historique de tracés, de mouvements ou de phénomènes de manière à pouvoir restituer des états

successifs ou encore pour proposer des représentations dynamiques sous forme de cartes animées (Johnson 2004 ; Cheylan 2007).

- 10 Dans le meilleur des cas, le temps constitue un élément d'explication des phénomènes spatiaux étudiés malgré la nécessité bien identifiée d'envisager une conception relative de l'espace intégrant le temps (Pumain 1993, p. 155-156). L'objectif des géographes de passer d'un espace support aux interactions spatiales puis à l'étude des dynamiques spatiales (Pumain 1993, p. 155-156) a très largement contribué à la formalisation des processus spatio-temporels et à leur méthode d'analyse. Quand les phénomènes sont abordés sous un aspect spatio-temporel, le temps est un des éléments qui structurent l'espace. C'est cette démarche qui est mise en œuvre pour l'explication des processus, des trajectoires, des dynamiques, le plus souvent dans des études portant sur un temps court. La prise en compte du temps est alors tellement liée à l'espace que la question de sa propre modélisation ne se pose pas. Comme pour l'espace auparavant, on peut alors parler de temps support dans lequel s'inscrivent les objets spatiaux complexes en interaction.
- 11 Comme archéologues, notre ambition est de travailler sur les processus de transformations par l'observation des héritages, des inerties, des trajectoires et des dynamiques. Notre démarche s'inscrit dans l'approche des sciences sociales à laquelle s'ajoute la spécificité du temps long. Proche des unités spatio-temporelles définies par différents auteurs, l'Objet Historique (OH) qui nous intéresse se distingue par les temporalités dans lesquelles il s'inscrit. Par exemple, les auteurs de *Life and Motion of Socio-economic Units* (Frank, Raper, Cheylan 2001), définissent une unité spatiale abstraite décrivant un phénomène social ou économique (socio-spatial economic unit) dont ils étudient le cycle de vie et les mouvements. Par définition, ils ne prennent pas en compte les changements d'usage de l'espace qui s'inscrivent dans un temps plus long.
- 12 Les archéologues qui ont fondé leur appréhension de l'espace sur les travaux des géographes, ont très naturellement abordé la question des dynamiques spatiales de la même manière. Les résultats obtenus constituent des avancées considérables tant du point de vue méthodologique que de celui de la compréhension des phénomènes archéologiques. Néanmoins, en subordonnant systématiquement le temps à l'espace, il n'est pas possible de rendre compte des multiples temporalités des phénomènes. En sciences historiques, l'omniprésence du temps dans les phénomènes étudiés constitue même un frein à sa formalisation et à sa modélisation. Dans son ouvrage récent *Le sombre abîme du temps. Mémoire et archéologie*, Laurent Olivier (2008) montre de manière introspective les ambiguïtés de la notion de temps dans la démarche archéologique, mais il n'envisage pas pour autant de structure plus systématique du temps. Les archéologues ont peu formalisé leur approche temporelle au-delà de l'échelle de la fouille avec l'analyse stratigraphique et des questions de datation des artefacts. En revanche, les formalismes de représentation et de raisonnement sur l'espace et le temps développés dans le domaine de l'intelligence artificielle (Le Ber, Ligozat, Papini 2007) n'ont pas eu d'écho en archéologie.
- 13 Il nous semble nécessaire d'avoir une approche indépendante de l'espace et du temps afin d'observer les processus autant spatio-temporels que temporo-spatiaux. Le principe que nous retenons est donc de modéliser le temps selon les mêmes règles que l'espace afin, toujours par analogie, de passer du temps support qui est le temps linéaire et figé dans lequel nous inscrivons les objets historiques comme on les localise dans l'espace, aux dynamiques traduisant les temporalités observées empiriquement pour l'essentiel. Les

outils d'analyse de ces temporalités sont encore à développer mais il convient, au préalable, de formaliser l'approche indépendante de l'espace et du temps. Ce changement de perspective nous semble être une étape nécessaire pour fonder l'étude des dynamiques sur des analyses dans lesquelles le temps et l'espace ont la même valeur.

L'objet historique dans trois dimensions : Fonction, Espace, Temps

- 14 L'Objet Historique (OH) est défini comme une unité, distincte des autres de manière univoque selon les mêmes critères que l'objet géographique : « Un objet est dit géographique s'il est localisé, fixe, de préférence indéformable, délimité et identifié pour être différencié des autres. Un objet est relatif à une échelle, une temporalité et une matérialité des données, trois propriétés qui peuvent se réunir dans la notion de granularité spatio-temporelle » (Langlois 2005, p. 311). Si nous réduisons la portée de l'objet historique au champ urbain, c'est, d'une part, parce que notre proposition de modélisation spatiale (Galinié, Rodier, Saligny 2004 ; Saligny 2004) a été construite pour l'étude des villes et, d'autre part, parce que la description sémantique est plus systématique que pour le milieu rural. En effet, la définition des objets d'étude en milieu rural est moins stricte qu'en ville pour plusieurs raisons. L'individualisation univoque d'un objet renseigné par des sources différentes est plus difficile à établir sans doute parce que les repères topographiques sont plus diffus, l'amplitude de variation d'échelles de perception des phénomènes est plus vaste et la « granularité spatio-temporelle » se différencie davantage selon l'origine des données. Malgré cela, si les questions du temps et de l'espace sont transférables de l'urbain au rural, l'interprétation ne l'est pas. Les choix inhérents à l'établissement d'un thésaurus posent plus de problèmes pour le milieu rural que pour la ville. L'approche fonctionnelle que nous appliquons (infra) aux questions actuelles d'archéologie urbaine n'est pas adaptée au monde rural.

Le système « espace urbanisé ancien »

- 15 Pour l'étude de la fabrique de la ville dans la longue durée (Galinié 2000), l'objet historique (OH) constitue l'unité analytique de l'espace urbanisé ancien, une église, un cimetière, un marché, etc. Il est ainsi déterminé par son interprétation, sa localisation et son emprise, sa datation et sa durée. Pour chaque OH, il faut procéder à :
- son individualisation à l'échelle pertinente répondant à la fois aux objectifs fixés et au degré de précision que permet l'état des connaissances ;
 - la critique des différentes sources le renseignant ;
 - la détermination de sa fonction ;
 - l'établissement de sa localisation et de son emprise ;
 - l'établissement de sa durée d'usage.
- 16 L'individualisation de l'OH comme entité robuste est fondée sur des systèmes documentaires permettant, par leur confrontation, la transformation des données issues des sources en informations de référence pertinente et interprétée.
- 17 La compréhension de l'espace urbain consiste à l'aborder comme un système complexe (figure 1) composé de trois dimensions : fonctionnelle (usage social), spatiale (localisation, étendue et morphologie) et temporelle (datation et chronologie), dont relèvent tous les

objets historiques quelle que soit l'échelle considérée (de la fouille à l'espace urbanisé ancien). Chacune de ces dimensions est un objet complexe composé d'objets simples (les entités fonctionnelles, spatiales ou temporelles) qui sont employés pour constituer les objets historiques.

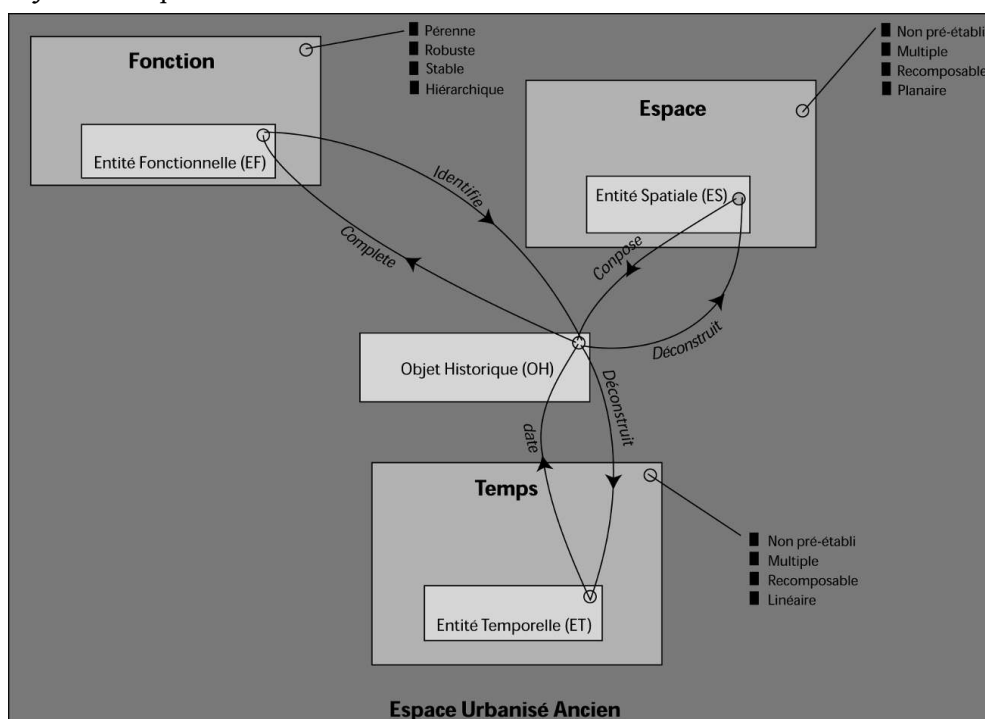


Figure 1. Le système « espace urbanisé ancien » (schéma construit selon la méthode HBDS, Hypergraph Based Data Structure : cf. §46)

18 La première étape est toujours la définition d'un cadre d'étude et d'analyse spatio-temporelle à partir duquel on fondera la résolution temporelle, spatiale et fonctionnelle. C'est le choix de l'échelle de perception du phénomène étudié (Saint-Gérard 2005) ou encore, la notion de granularité spatio-temporelle (Langlois 2005, p. 311). Ensuite, dans ce cadre, les interactions entre chaque dimension et l'OH modifient et/ou enrichissent la définition de l'OH lui-même (Figure 1).

- - La Fonction est définie comme pérenne, stable et robuste. Elle est composée d'entités fonctionnelles (EF) qui serviront à identifier et interpréter les OH. Inversement, la reconnaissance de nouveaux OH permettra de rajouter de nouvelles EF (cf. §48 à 53).
- - L'Espace est défini comme non préétabli, planaire, multiple et recomposable car il dépend de la déconstruction géométrique des objets historiques en entités spatiales (ES). Ces ES sont nos unités élémentaires constitutives de l'Espace qui, par défaut, reste vacant (cf. §54 à 64).
- - Le Temps est défini comme non préétabli, linéaire, multiple et recomposable car il dépend de déconstruction chronométrique des objets historiques en entités temporelles (ET). Les ET sont nos unités élémentaires constitutives du Temps. Elles datent les objets historiques (apparition – disparition ; cf. §65 à 70).

19 Il existe un processus de réitération, interne à chaque ensemble et répondant à sa logique propre, lié au processus d'interprétation de la donnée archéologique à la fois inductif et hypothético-déductif (Rodier, Galinié 2006). Cela se traduit par la rétroaction des EF sur elles-mêmes (spécialisation fonctionnelle), des ES sur elles-mêmes (interaction spatiale) et des ET sur elles-mêmes (héritages). En outre, chaque OH constitue un élément de

rétroaction à la fois dans chacune des dimensions (identification de nouvelle fonction et déconstruction de l'espace et du temps) ainsi que sur le système "espace urbanisé ancien" par la fabrique de la ville (Galinié 2000).

- 20 Cette définition s'inscrit dans la logique de la triade des trois W (What, Where, When) de Peuquet (1994, p. 447-451) fréquemment utilisée (Egenhofer, Golledge 1998 ; Lardon, Libourel, Cheylan 1999 ; Thériault, Claramunt 1999 ; Ott, Swiaczny 2001 ; Panopoulos, Stamatopoulos, Kavouras 2003). Ainsi l'objet historique est fondé sur ces trois ensembles, Fonction, Espace et Temps, dont il est le produit cartésien (Figure 2).

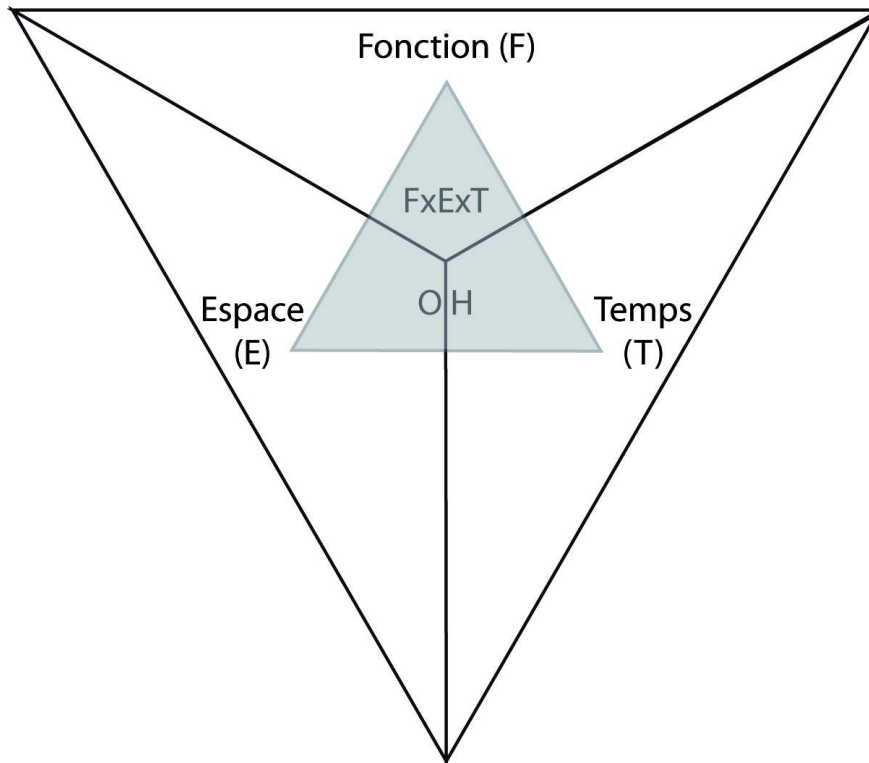


Figure 2. Le modèle OH-FET dans les trois dimensions

- 21 L'association des trois ensembles implique que chacun des processus est conditionné par les deux autres comme l'explique Donna Peuquet (1994, p. 448) :
- “The triad framework permits the user to pose three basic kinds of questions:
- when + where → what: Describe the objects or set of objects (what) that are present at a given location or set of locations (where) at a given time or set of times (when).
 - when + what → where: Describe the location or set of locations (where) occupied by a given object or set of objects (what) at a given at a given time or set of times (when).
 - where + what → when: Describe the times or set of times (when) that a given object or set of objects (what) occupied a given location or set of locations (where).”
- 22 - L'interprétation fonctionnelle d'un objet historique se fait par le choix d'une fonction dans un thésaurus. Son inscription à la fois dans une temporalité (par la datation) et dans l'espace (par sa localisation et sa forme) influe directement sur ce choix. Certaines occurrences du thésaurus sont des fonctions déterminées par un espace particulier (cloître canonial, aire funéraire...) et/ou par la chronologie (*domus*, églises paroissiales).

- 23 – La localisation et la forme d'un objet historique sont déterminées par la fonction (nécropoles, édifices de spectacle) et la chronologie (cimetières, systèmes défensifs). En outre, le découpage de l'espace en ES est déterminé par la construction successive des objets historiques en fonction de leur définition temporelle et fonctionnelle (il n'y a pas de découpage matriciel préalable de l'espace d'étude).
- 24 – La datation d'un objet historique est caractérisée par ses dates d'apparition et de disparition. Même quand la continuité temporelle d'une fonction est assurée, un changement de lieux (déplacement) ou une modification morphologique significative impliquent le passage d'un objet historique à un autre.

L'échelle d'analyse

- 25 La rétroaction de l'OH sur l'espace urbanisé ancien (Figure 1) correspond à une focale donnée à laquelle on observe la fabrique urbaine. Cependant, les échelles d'analyse peuvent s'emboîter formant à chaque fois un système similaire mais à un niveau supra ou infra, englobant ou englobées par un autre. La répétition de ces emboîtements d'échelle se traduit par la définition d'objet spécifique à chacune d'entre elles (Tableau 1). Le passage de l'une à l'autre correspond systématiquement à un changement de résolution dans chacun des trois ensembles, fonction, espace et temps. A chacune de ces échelles imbriquées telles des poupées gigognes, correspond des descripteurs adaptés pour chacun de ces systèmes.
- 26 Le passage de la caractérisation des objets d'étude à l'analyse des dynamiques urbaines ne consiste pas uniquement en un changement de niveau. La généralisation et l'agrégation spatiale d'entités identifiées dans le sol à l'échelle de la ville sont insuffisantes pour aborder les dynamiques urbaines. L'analyse de l'espace urbain tel que nous l'envisageons consiste en un changement d'échelle auquel correspond un changement d'objet. Il faut transformer les objets issus des sources en objets historiques dans la ville. L'hétérogénéité des données et la multiplicité des sources mises en œuvre varient selon l'échelle considérée et induisent un changement des descripteurs dans les trois dimensions que sont la fonction, l'espace et le temps.
- 27 L'interprétation thématique passe de la description à l'identification de l'usage puis à la détermination de fonctions urbaines.
- 28 Spatialement, la transformation de points en surfaces et inversement fait appel à des processus de recomposition plus complexes que la généralisation ou l'agrégation.
- 29 Pour le temps, Le traitement chronologique va de l'antéro-postériorité (établissement d'une chronologie relative) à la datation. Les objets considérés s'inscrivent dans des temporalités différentes selon la focale d'analyse.

Objet	Exemple	Fonction		Espace		Temps	
		Descripteur	Méthode	Descripteur	Méthode	Descripteur	Méthode
Unité stratigraphique	US 2375, couche d'occupation à l'intérieur d'un bâtiment A	Occupation intérieure	Caractérisation de l'usage du sol	Sol de la pièce X du bâtiment A	Localisation (relevés)	2375, sous (avant) 2274 et 2366, sur (après) 2456. XIV ^e -XV ^e siècle	Chronologie relative Datation (examen du mobilier)
Structure	Bâtiment A	Construction	Interprétation fonctionnelle des structures	Pièce X du bâtiment A	Assemblage des relevés	2 ^{ème} moitié du XIV ^e siècle	Datation (étude quantifiée des assemblages de mobilier)
Fouille, opération, site	Bâtiment médiéval	Logis résidentiel	Thésaurus du Cnau (descripteur)	Fouille de la rue du Commerce	Emprise des bâtiments	2 ^e moitié du XIV ^e siècle	Datation (modélisation statistique des assemblages de mobilier)
Élément constitutif	Maison	Habitat domestique	Thésaurus du Cnau (valeur d'usage)	Parcelle, îlot	Emprise des maisons (plan cadastral)	XIV ^e siècle	Datation (modélisation statistique des assemblages de mobilier)
Objet historique urbain	Quartier résidentiel	Construction civile	Thésaurus du Cnau (fonction urbaine)	Quartier de Tours	Localisation ponctuelle dans la ville	XIV ^e - XV ^e siècle	Datation (modélisation statistique des assemblages de mobilier)
Espace urbanisé ancien	La ville réunie vers 1400	Ville	Critères de hiérarchisation inter-urbaine	Tours	Plan de ville (topographie historique)	bas Moyen Âge	Insertion dans le modèle chronologique de la ville

Tableau 1. Exemple archéologique de changement d'échelle dans les trois dimensions

L'objet historique produit cartésien des ensembles fonction, espace et temps

- 30 Soit F l'ensemble des entités fonctionnelles, E l'ensemble des entités spatiales et T l'ensemble des entités temporelles.

Un objet historique OH est un élément du produit cartésien des trois ensembles F, E, T , donc un triplet (f, e, t) avec $f \in F, e \in E, t \in T$.

La trajectoire des phénomènes étudiés est déterminée par les changements dans chacun de ces ensembles qui se traduisent par un changement d' OH .

$$OH \in F \times E \times T$$

Selon ce principe, un OH correspond par définition à un état donné caractérisé par un élément de chacun des ensembles. L'accumulation (réunion usuellement notée \cup) des OH à un temps t_0 ou pendant une durée $[t_1; t_2]$ est un état de la topographie historique de l'espace étudié. En toute rigueur cet état est un élément de l'ensemble des parties de $F \times E \times T$. Ce que l'on peut écrire :

$$Etat_{t_0} \in \mathcal{P}(F \times E \times T)_{t=t_0}$$

ou,

$$Etat_{[t_1; t_2]} \in \mathcal{P}(F \times E \times T)_{t \in [t_1; t_2]}$$

- 31 Par commodité, on écrira :

$$\bigcup_{t=t_0} (OH)_t$$

ou

$$\bigcup_{t=t_1}^{t=t_2} (OH)_t$$

- 32 Si n est le nombre d'éléments du produit cartésien $F \times E \times T$

$$n = \text{Card}(F) \times \text{Card}(E) \times \text{Card}(T)$$

où $\text{Card}(E)$ est le nombre d'éléments de E ,

le nombre d'éléments de $\mathcal{P}(F \times E \times T) = 2^n$

- 33 L'observation de la dynamique relève de la compréhension du processus de changement d'état plutôt que de la comparaison d'états successifs (Frank 2001, p. 51). En règle générale, l'étude des dynamiques à partir des diverses sources historiques est fondée sur la réalisation d'états à plusieurs temps t_n donnés, puis sur la comparaison de ces états. Plusieurs méthodes sont alors utilisées comme la comparaison visuelle (par exemple les DEPAVF du Cnau¹) ou l'algèbre de carte après généralisation de l'information (Nuninger, Sanders 2006, Nuninger, Tourneux, Favory 2008, Gauthier 2008 ; Frank 2001, p. 21). Dans tous les cas, il s'agit de la différence entre un état à t_1 et un état à t_2 (Frank 2001, p. 22). Le résultat prend la forme d'une cartographie des changements qui représente la disparition, la stabilité et l'apparition. Par commodité on écrit :

$$\text{Etat}_{t_2} - \text{Etat}_{t_1} = \text{changement d'état}$$

- 34 Le modèle que nous proposons a pour objectif de permettre d'analyser les transformations que révèlent les produits cartésiens des ensembles deux à deux.

$F \times E = \text{transformations fonctionno - spatiale ou spatio - fonctionnelle}$

$F \times T = \text{transformations fonctionno - temporelle ou temporo - fonctionnelle}$

$E \times T = \text{transformations spatio - temporelle ou temporo - spatiale}$

Ces produits deux à deux caractérisent des interactions auxquelles sont associés un ou plusieurs thèmes de l'étude des dynamiques urbaines dans la longue durée (Tableau 2).

Produits	Thèmes d'étude
F x E	Espace spécialisé déterminé par un usage : cloître canonial, aire funéraire, zone de production, port...
F x T	Fonction appartenant à une seule phase chronologique : domus, église paroissiale... Changement de fonction : emploi/réutilisation d'un édifice
E x T	Localisation caractéristique d'une phase chronologique : nécropole, système défensif... Mouvement : déplacement d'une fonction (baptistère, atelier monétaire...) Morphologie : changement de forme (passage d'une chapelle à une basilique funéraire...) ou redistribution spatiale (réorganisation des bâtiments d'un couvent...).

Tableau 2. Thèmes d'étude associés aux produits des dimensions deux à deux

Entrées et sorties du modèle OH_FET (Objet Historique – Fonction, Espace, Temps)

- 35 Le modèle OH_FET (Figure 3) offre trois entrées autonomes, F, E et T et six sorties F, E, T, F x E, F x T et E x T plus une F x E x T. Parmi les six sorties, trois permettent d'observer les

distributions de la fonction, de l'espace ou du temps et les trois autres, des variabilités fonctionno-spatiale ou spatio-fonctionnelle ($F \times E$), fonctionno-temporelle ou temporo-spatiale ($F \times T$), spatio-temporelle ou temporo-spatiale ($E \times T$). La sortie supplémentaire, $F \times E \times T$, au cœur du système, ne reflète aucun processus de changement, mais l'état des OH et de la topographie historique à un moment donné.

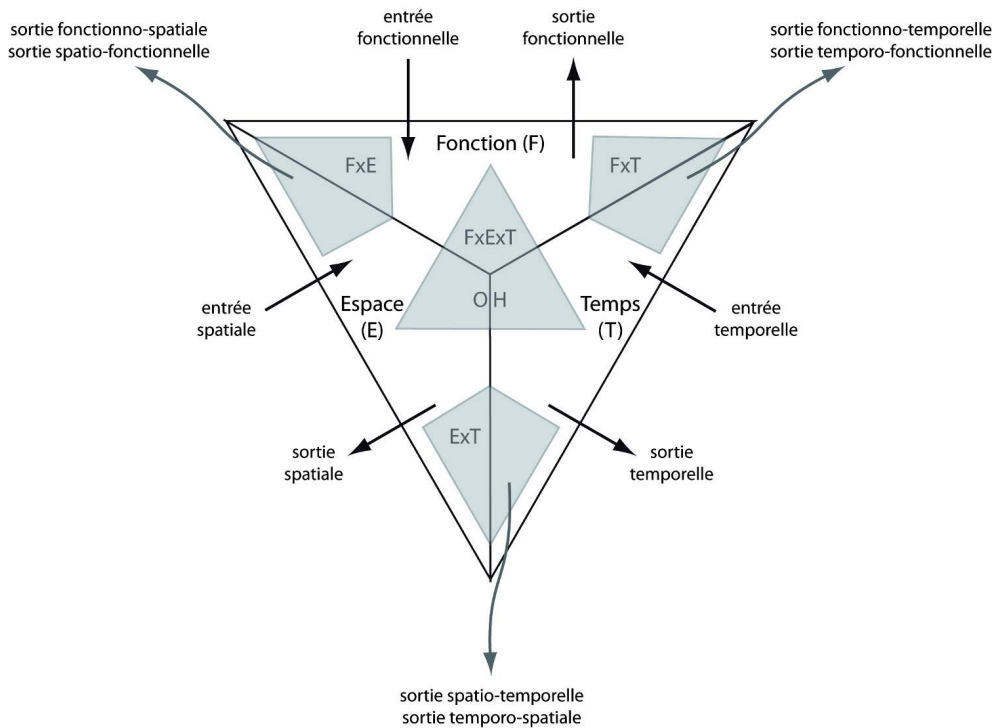


Figure 3. Entrées et sorties du modèle OH_FET

36 Cette approche permet :

- De restituer **tous les états possibles**, c'est-à-dire toutes les cartographies à toutes les dates ou intervalles possibles, au lieu d'avoir des états prédéfinis, "des clichés" induisant un biais dans la vision des phénomènes.
- D'analyser et observer **tous les changements d'état possibles**. Il s'agit de procéder à une différence entre 2 états mais comme tous les états sont possibles, l'observation des changements peut se faire avec des pas de temps très variés et non induits par défaut.
- De comprendre **les transformations** c'est-à-dire le processus de changement d'état. C'est la recherche de cette finalité qui fonde le modèle OH_FET. Le principe d'autonomie de la fonction, de l'espace et du temps permet de les regrouper en produit deux à deux afin d'observer les facteurs influant sur le changement et d'estimer le rôle ou la prépondérance de l'un par rapport à l'autre.

37 Au delà de la restitution de l'état des OH ($F \times E \times T$), chaque sortie du modèle OH_FET offre la production de nouveaux éléments d'analyse permettant d'observer :

- La distribution fonctionnelle (F) : le nombre de fois qu'est employée chaque EF pour former les OH
- La distribution spatiale ou la sollicitation de l'espace (E) : le nombre de fois qu'est employée chaque ES pour former les OH
- La distribution temporelle ou la sollicitation du temps (T) : le nombre de fois qu'est employée chaque ET pour former les OH

- La variabilité fonctionnelle dans l'espace (FxE) fondée sur la fréquence de sollicitation des fonctions par ES et le nombre de fonction différentes par ES
 - La variabilité fonctionnelle dans le temps (FXT) fondée sur la sollicitation des fonctions par ET et le nombre de fonction différente par ET
 - La variabilité spatiale dans le temps (EXT) fondée sur la sollicitation de ET par ES ainsi que la variabilité temporelle dans l'espace (EXT) fondée sur la sollicitation des ES par ET.
- 38 Aucune des sorties ne permet d'étudier une partie du système indépendamment du reste : chaque résultat représente un aspect participant à la compréhension de l'ensemble. Chacun de ces traitements permet de fournir des informations différentes et complémentaires pour appréhender les dynamiques du système.

La modélisation conceptuelle

- 39 Partant du modèle OH_FET, la démarche consiste à définir un schéma conceptuel de données (SCD) d'abord pour chacune des dimensions, puis global.
- 40 Une courte description de la méthode HBDS, Hypergraph Based Data Structure, utilisée fournit les clefs de lecture des schémas suivants. La modélisation conceptuelle respecte les spécificités de chacune des dimensions et les objectifs fixés.
- 41 La fonction est donc organisée selon un modèle arborescent le plus souvent utilisé pour la description des objets archéologiques, quelle que soit l'échelle d'analyse (typologies organisées selon des thésaurus hiérarchisés).
- 42 L'espace, dimension la plus formalisée des trois, est structuré, dans ce cas, sur le modèle d'un graphe planaire topologique sans isthme² (Berge 1958, p. 206-217) fréquemment utilisé par les SIG.
- 43 Le temps, toujours considéré comme continu et linéaire, n'a pas fait l'objet, pour les systèmes d'information, de modélisation spécifique. Nous proposons de le modéliser par analogie à l'espace.
- 44 Afin de permettre d'effectuer les analyses proposées (cf. §36 à 39), la modélisation conceptuelle doit respecter la règle de non-redondance de l'information.

Méthode

- 45 La méthode HBDS utilisée est élaborée à partir de la théorie des graphes et la théorie des ensembles (Bouillé 1977 ; Saint-Gérand 2005). Elle se réfère à deux notions : les objets simples et les objets complexes formés à partir des objets simples. Elle regroupe quatre éléments fondamentaux utiles à la lecture des figures suivantes :
- La classe : c'est un ensemble d'objets ayant les mêmes caractéristiques (valuations). Ces objets seront dits « simples ». Elle est représentée par un rectangle.
 - L'hyperclasse : c'est un ensemble d'une ou plusieurs classes. Ses objets sont dits « complexes ». Sa figuration correspond également à un rectangle englobant les rectangles figurant les objets simples composant l'hyperclasse.
 - Les liens : ils matérialisent les relations topologiques entre les classes d'objets et/ou les hyperclasses. Ils sont représentés par une ou plusieurs flèches.
 - Les hyperliens : c'est un ensemble de liens de nature similaire. Chaque lien ou hyperlien est porteur de valuations.

- Les valuations : elles caractérisent la classe ou ensemble d'objets. Elles sont figurées par des carrés reliés à la classe.
- 46 L'objet simple possède une géométrie propre alors que l'objet complexe n'en possède pas, il est composé d'un ou plusieurs objets simples. Selon cette modélisation, plusieurs objets complexes peuvent former d'autres objets complexes.

L'entité fonctionnelle (EF), inscrite dans un thésaurus hiérarchique

- 47 Les EF, éléments composant la fonction (cf. §18), sont construites lors de la première étape d'élaboration de la documentation de référence consacrée à la définition et à la formalisation des données historiques.
- 48 Dans le domaine de la topographie urbaine étudiée dans la longue durée, les renseignements utiles, pour leur potentiel documentaire, proviennent de trois types de sources (Galinié 2000, p. 18-24 ; Galinié, Rodier 2002) :
- les éléments matériels dans le sol ou en élévation,
 - les mentions écrites,
 - les représentations iconographiques.
- 49 De nombreux exemples de regroupements fonctionnels existent dans la bibliographie archéologique ou historique contemporaine, issue de la géographie urbaine (Heighway 1972 ; Van Es *et al*, 1982 ; Lepetit 1988). Nous utilisons celui élaboré et testé par le Centre national d'archéologie urbaine du ministère de la Culture (Cnau) qui a fait ses preuves depuis 1990, pour le traitement des données topographiques des villes préindustrielles³.

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

Tableau 3. Valeurs urbaines (1 à 9) et valeurs d'usages (11 à 92) d'après le thésaurus du Cnau

- 50 L'interprétation fonctionnelle de chaque élément matériel est établie à trois niveaux : celui de la description, celui de la valeur d'usage et celui de la valeur urbaine. Le niveau des descripteurs spécifiques n'est pas présenté dans le thésaurus du Cnau (Tableau 3). Par exemple, les structures archéologiques décrites comme une construction avec un four de potier sont interprétées comme un atelier (valeur d'usage) ; on en suppose l'existence d'un secteur artisanal et celle d'activités de production ou de transformation (valeur urbaine). Cette interprétation à deux niveaux correspond à un changement d'échelle (Boffet 2002, p. 229).
- 51 Le SCD retenu pour la fonction (figure 4) est celui du thésaurus hiérarchisé. Sa résolution par une hiérarchisation à trois niveaux (description, valeur d'usage, valeur urbaine) est fondée sur l'échelle de perception envisagée. L'EF est une occurrence du thésaurus. La fonction de l'OH est définie par une seule EF. Une EF peut-être sollicitée par plusieurs OH. Le thésaurus est limité à l'aire chrono-culturelle étudiée. Toutes les occurrences ne sont

pas nécessairement sollicitées. La création d'un nouvel OH peut amener à augmenter le thésaurus.

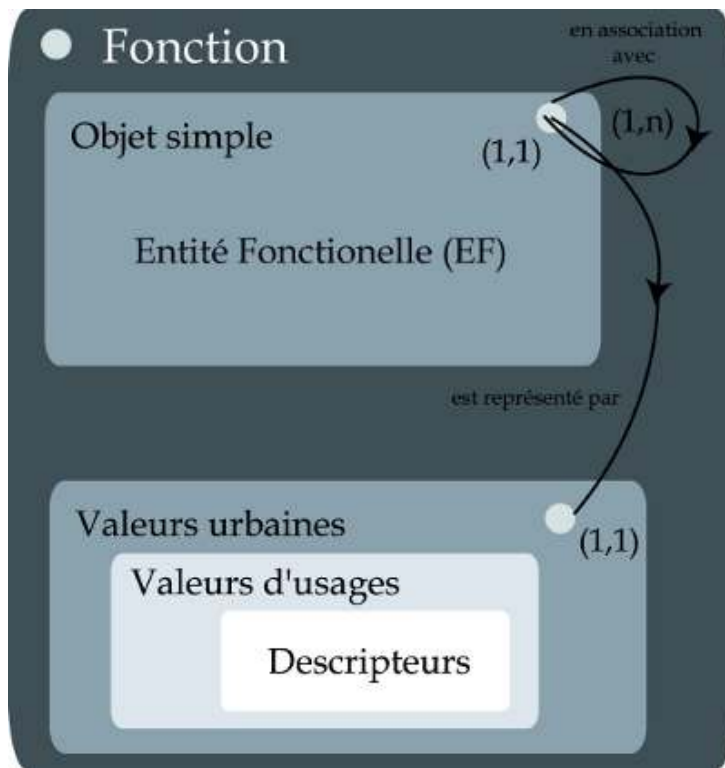


Figure 4. Schéma conceptuel de données de la Fonction

L'entité spatiale (ES), élément du graphe planaire topologique

- 52 La modélisation spatiale proposée (Galinié, Rodier, Saligny 2004 ; Saligny 2004) est fondée sur le principe de la non redondance des entités. Les ES sont des objets simples limités à une géométrie localisée ; un objet simple formant une partie ou le tout d'un objet complexe, ici l'objet historique. Nous postulons que l'espace est continu, limité par la définition d'une zone d'étude et qu'en l'absence d'ES, il contient des vides, c'est-à-dire des espaces vacants.
- 53 La création des ES dépend de la définition préalable des OH, il n'y a pas de découpage de l'espace a priori. Le principe retenu est qu'en un lieu donné, il ne peut y avoir qu'une et une seule ES mais elle peut être utile à autant d'OH que nécessaire. C'est le découpage de l'espace par la superposition des OH entre eux et avec l'espace qui définit les ES. La forme de l'ES n'a pas de sens fonctionnel ou interprétatif, elle résulte uniquement des changements spatiaux observés en un lieu.
- 54 La modélisation consiste à déconstruire l'information, quitte à aller à l'encontre de la perception synthétique que nous avons d'un lieu.
- 55 La Figure 5 détaille cette démonstration à partir d'un exemple représentant une succession de transformations telle qu'il en existe dans de nombreuses villes de France selon des modalités variées.

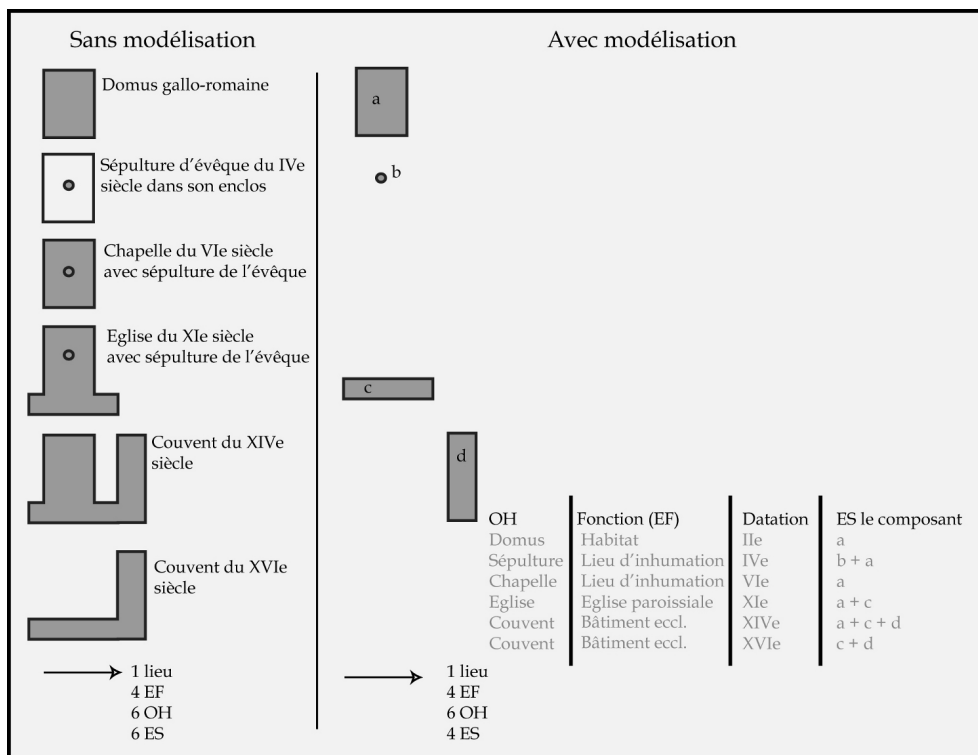


Figure 5. Exemple de conversion d'OH en ES (Galinié, Rodier, Saligny 2004)

56 Le changement de perspective opéré en déstructurant l'espace en ES s'appuie sur une définition du lieu dont la fonction et le temps sont des attributs. L'espace est alors au cœur du modèle proposé et, de fait, au centre des problématiques. Le raisonnement est fondé sur les types de modifications d'un lieu dans le temps (Figure 6) regroupés en trois catégories, modifications thématiques, spatiales et temporelles, inspirées de Lardon, Libourel et Cheylan (1999, p. 51-52).

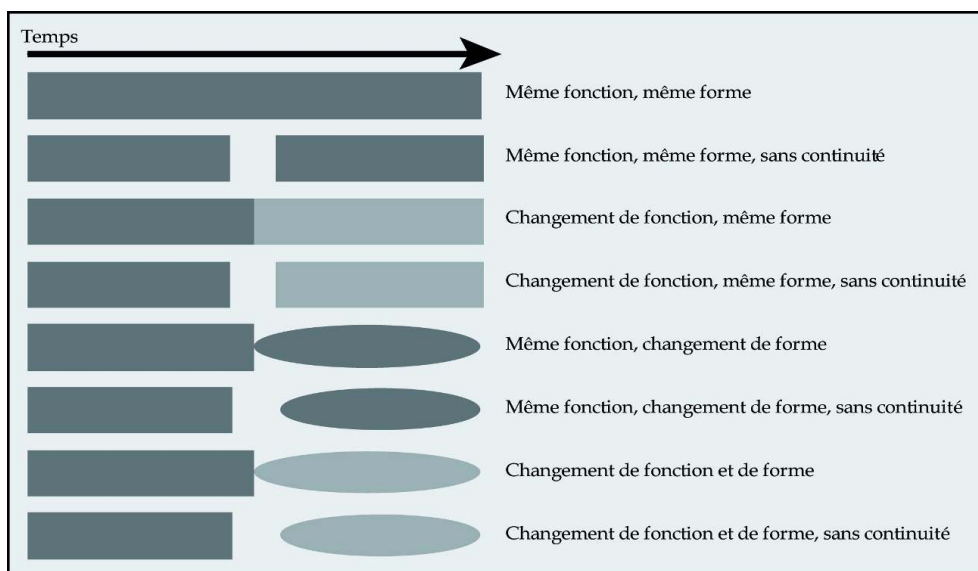


Figure 6. Types de modifications que peut subir un lieu dans le temps (Galinié, Rodier, Saligny 2004)

- 57 L'objectif du SCD proposé (Figure 7) est de créer des entités spatiales selon les transformations morphologiques subies par un lieu, et non selon une définition fonctionnelle. Ceci oblige à découper le lieu en objets (ES) qui ne sont pas définis par une datation et/ou une fonction. Dans notre exemple, les ES créées correspondent à des réalités physiques, à des formes bien matérialisées et bien localisées qui prendront une signification historique détaillée grâce à leurs associations spatio-temporelles successives pour composer des OH.
- 58 Une ES ou une addition d'ES définira un objet historique (OH) à un moment donné. Un objet historique pourra être composé d'une ou plusieurs ES. Une ES pourra appartenir à un ou plusieurs OH. De même, grâce aux emboîtements possibles, un lieu pourra être composé d'un ou plusieurs OH et un OH appartiendra à un lieu et un seul.
- 59 Ainsi, on constate que la création d'une ES relève de l'aspect temporel des éléments caractérisant un lieu : ce dernier est scindé en autant d'ES que de « structures » identifiables qui apparaissent ou disparaissent.
- 60 Ce découpage reflète une réalité spatiale (apparition, stabilité, disparition) dans le temps et non pas une réalité fonctionnelle. Celle-ci est obtenue grâce aux combinaisons des relations et des attributs entre chacune des ES qui vont former des objets complexes : les OH.
- 61 La difficulté liée à cette déstructuration de l'espace est de s'affranchir de la valeur interprétative historique au moment de définir les ES.

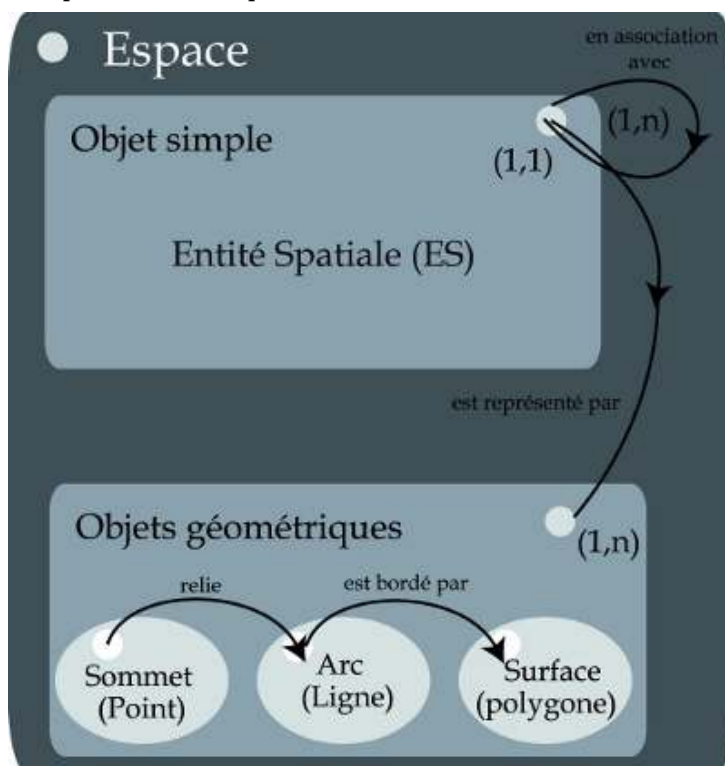


Figure 7. Schéma conceptuel de données pour l'Espace

L'entité temporelle (ET), élément du temps

- 62 Afin de tenter de s'affranchir du temps support (cf. §13) nous proposons de modéliser le temps par analogie à l'espace. Quels que soient les objectifs de la modélisation et l'échelle d'analyse considérée, dès lors qu'il s'agit de données historiques, le temps est le paramètre essentiel. Or, tant qu'il est cantonné au rôle d'attribut, il ne peut pas être mobilisé globalement mais seulement pour chaque classe d'entités et il est répété pour chacune d'entre elles. Il convient donc de considérer le temps comme une classe d'entités à part entière. Pour cela, il faut définir une entité temporelle (ET) neutre comme la plus petite partie de temps utile à la datation du phénomène étudié.
- 63 Les relations topologiques entre les intervalles temporels ont été formalisées en intelligence artificielle par Allen (1984). Cet algèbre est le plus utilisé (Peuquet 1994, p. 454-455 ; Lardon, Libourel, Cheylan 1999, p. 48-49 ; Muller, Dugat 2007, p. 39). Nous ne retenons que quatre des treize relations d'Allen (Figure 8) mentionnées par Muller et Dugat (2007, p. 39) en bornant les intervalles par des dates comme ils le proposent également (Muller Dugat 2007, p. 43).

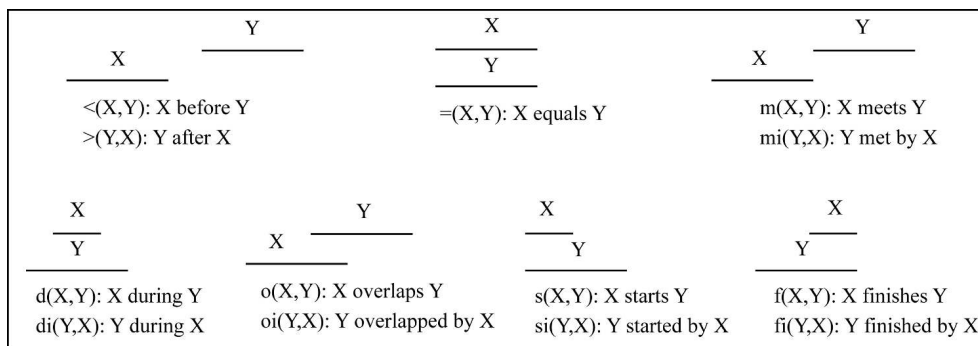


Figure 8. Les relations d'Allen pour le temps

- 64 Nous éliminons toutes les formes d'intersection entre deux intervalles afin de ne retenir pour nos ET que les relations non redondantes :
- $\langle(X,Y)$: X before Y (X est avant Y)
 - $\rangle(Y,X)$: Y after X (Y est après à X)
 - $m(X,Y)$: X meets Y (X joint Y)
 - $mi(Y,X)$: Y met by X (Y est joint par X)
- 65 Dès lors que les redondances sont éliminées, toutes les notions de durée, siècle, période peuvent être recomposées à partir de ce modèle. A l'instar des ES, les ET sont déconnectées de l'interprétation fonctionnelle et spatiale. La durée et le nombre d'ET pour une période de temps déterminent une fréquence. L'observation de cette distribution doit permettre l'analyse des rythmes.
- 66 Comme l'espace, le temps est continu, limité par les bornes chronologiques de l'objet d'étude. La résolution temporelle choisie pour les ET détermine la datation des objets historiques. Il peut en l'absence d'ET ne pas être utilisé c'est-à-dire contenir des vides temporels. La création des ET dépend de la définition préalable des OH, il n'y a pas de découpage du temps a priori. A un instant donné, il ne peut y avoir qu'une et une seule ET mais elle peut être utile à autant d'objets historiques que nécessaire. C'est le découpage du temps par l'accumulation des OH entre eux et avec le temps qui définit les ET

(Figure 9). La durée de l'ET n'a pas de sens fonctionnel ou interprétatif, elle résulte uniquement des changements temporels observés.

Objets Historiques définis par fonction / espace / temps																					
découpage et identification des entités temporelles																					
relations	<table border="0"> <tr> <td>1 - A</td> <td>4 - A</td> <td>5 - C</td> <td>7 - C</td> <td>10 - D</td> </tr> <tr> <td>2 - A</td> <td>4 - C</td> <td>6 - A</td> <td>8 - C</td> <td>11 - D</td> </tr> <tr> <td>3 - A</td> <td>5 - A</td> <td>6 - C</td> <td>9 - C</td> <td>12 - D</td> </tr> <tr> <td>3 - C</td> <td>5 - B</td> <td>7 - A</td> <td></td> <td></td> </tr> </table>	1 - A	4 - A	5 - C	7 - C	10 - D	2 - A	4 - C	6 - A	8 - C	11 - D	3 - A	5 - A	6 - C	9 - C	12 - D	3 - C	5 - B	7 - A		
1 - A	4 - A	5 - C	7 - C	10 - D																	
2 - A	4 - C	6 - A	8 - C	11 - D																	
3 - A	5 - A	6 - C	9 - C	12 - D																	
3 - C	5 - B	7 - A																			
mise en place de combinaisons	<p>A = 1 + 2 + 3 + 4 + 5 + 6 + 7 B = 5 C = 3 + 4 + 5 + 6 + 7 + 8 + 9 D = 10 + 11 + 12</p>																				

Figure 9. Conversion des OH en ET

67 Le SCD (Figure 10) est construit de manière théorique en distinguant les objets simples et les objets complexes par analogie avec les ES. Dans sa plus simple expression, l'ET est assimilable à la notion de « date ». Le modèle du temps est linéaire et, comme pour l'espace, topologique. Ici, le temps est assimilé à un espace à une dimension. L'hyperclasse « temps » est composée des entités temporelles, objets simples, représentées par des dates et des intervalles. Cette formalisation du temps en instants et intervalles est celle que décrivent Philippe Muller et Vincent Dugat (2007, p. 34-35). En revanche, nous proposons ici de déconstruire le temps en autant d'ET que nécessaire pour la constitution des objets historiques (Figure 9).

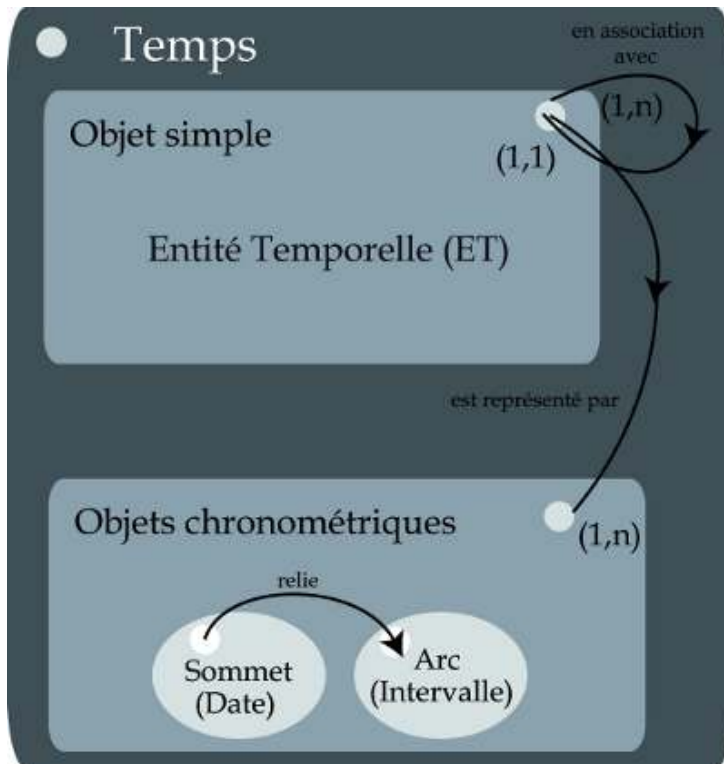


Figure 10. Schéma conceptuel de données pour le Temps

Le schéma conceptuel de données global

- 68 L'organisation de ces trois propositions autour de l'OH constitue le SCD global du modèle OH_FET de l'espace urbanisé ancien pour l'étude de la ville dans la longue durée (Figure 11).
- 69 Les relations entre les hyperclasses fonction, espace et temps avec celle de l'objet historique déterminent respectivement son interprétation, sa localisation et sa datation. Les attributs de ces relations permettent de les qualifier : fiabilité de l'interprétation, précision de la localisation, origine et précision de la datation.
- 70 Même s'il n'y a pas de résolution prédéfinie pour l'espace comme pour le temps et si l'ensemble des fonctions n'est pas fini (le thésaurus peut toujours être augmenté), l'échelle de perception choisie pour les phénomènes étudiés fixe malgré tout une échelle pour chacun des ensembles.
- 71 Cette organisation permet, d'une part, de placer l'objet historique au centre du modèle en interaction avec ses trois composantes et, d'autre part, de rendre indépendant (dans leur construction) la fonction, l'espace et le temps.

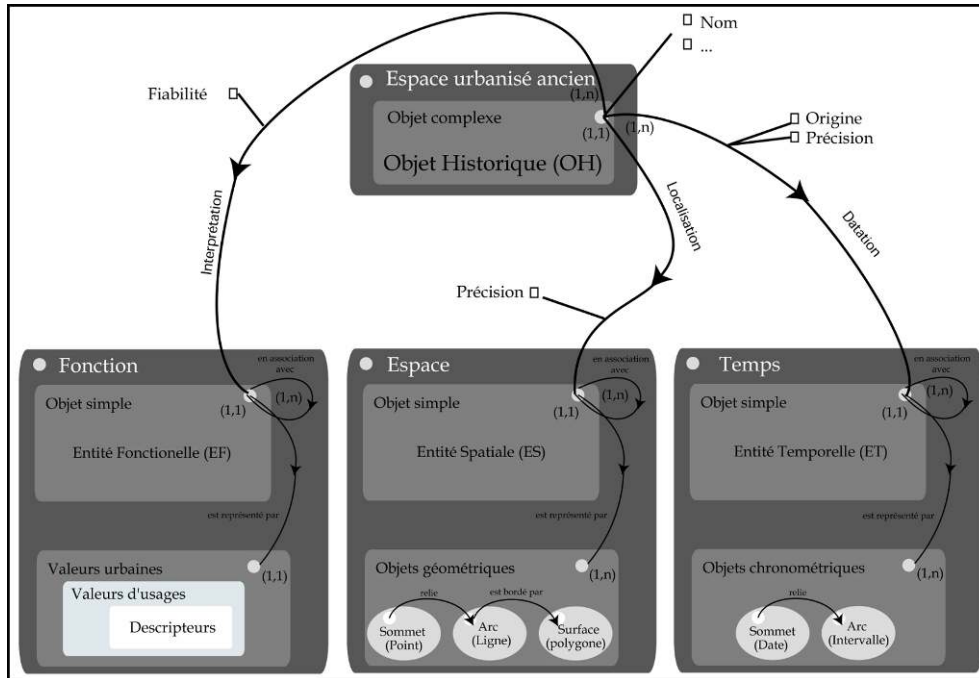


Figure 11. Schéma conceptuel de données du modèle OH_FET

Conclusion : du modèle à l'analyse

72 L'objectif de la modélisation conceptuelle est de permettre la mise en œuvre d'un système d'information pour analyser les données afin de faire progresser la compréhension des phénomènes observés, ici l'espace urbanisé ancien. En construisant la modélisation temporelle par analogie avec la modélisation spatiale, nous sous-entendons que l'analyse temporelle s'appuie sur des concepts semblables à ceux de l'analyse spatiale selon les équivalences suivantes :

Concepts de l'analyse spatiale	Concepts de l'analyse temporelle
Localisation	Datation
Distance	Durée
Position relative	Chronologie relative
Interaction spatiale	Interaction temporelle

73 Par interaction temporelle, nous entendons l'analyse des rythmes et des fréquences. Si des modèles géographiques d'interactions spatiales ont été utilisés pour traiter des données archéologiques (Nuninger, Sanders 2006), il n'y a pas d'équivalent pour les analyses temporelles. Or, l'analyse de ces interactions offre une lecture des rythmes et permet de mettre en évidence les accélérations et les décélérations, contractions et dilatations temporelles, observées empiriquement par les archéologues et les historiens.

L'identification de ces rythmes traduit vraisemblablement l'état des connaissances en mettant en exergue les effets de sources. Cependant, cela offre également la possibilité de focaliser les observations sur la transition d'un état à un autre, c'est-à-dire de s'intéresser au changement d'état, les transformations, plutôt qu'aux états eux-mêmes (Lefebvre, Rodier, Saligny 2008 ; Rodier *et al.* 2010).

- 74 L'interrogation des données structurées selon le modèle OH_FET permet d'identifier les états, d'observer indépendamment la distribution des entités fonctionnelles, spatiales et temporelles, de mesurer les changements d'état, de quantifier et de représenter les transformations. Il faut néanmoins examiner avec vigilance la transcription de l'effet de source dans les résultats obtenus.
- 75 Le modèle OH_FET est extrêmement contraignant, d'une part pour la constitution du corpus de données et sa mise en œuvre, d'autre part pour l'élaboration d'un discours historique. Il est cependant le seul qui, fondé sur une analyse systématique des données, autorise en entrée une approche selon laquelle aucune des trois dimensions ne prévaut sur les autres et en sortie la possibilité d'aborder les transformations de manière analytique.
- 76 Bastien Lefebvre a appliqué le modèle OH_FET pour le traitement des données dans le cadre de sa thèse *La formation d'un tissu urbain dans la Cité de Tours : du site de l'amphithéâtre antique au quartier canonial (5^e-18^e s.)* (Université de Tours 2008, <http://tel.archives-ouvertes.fr/tel-00349580/fr/>). Il montre dans sa thèse la robustesse du modèle et son apport à la compréhension de la fabrique de la ville (Lefebvre 2010). Néanmoins, cette application met aussi en évidence les difficultés de structuration et de manipulation des données.
- 77 La valeur heuristique de cette modélisation réside dans le passage de la description à la compréhension des phénomènes (Peuquet 1994 ; Frank 2001, p. 51). L'originalité de notre démarche réside dans une approche sans a priori qui permet de ne pas partir de la cartographie d'un phénomène mais de l'appréhender indifféremment selon une entrée fonctionnelle, spatiale ou temporelle (figure 3).

BIBLIOGRAPHIE

- Allen J. F., 1984, "Towards a General Theory of Action and Time", *Artificial Intelligence*, vol. 23, No.2, 123-154.
- Berge C., 1958, *Théorie des graphes et ces applications*, collection universitaire de mathématiques, Paris, Dunod.
- Berge C., 1970, *Graphes et hypergraphes*, Monographie universitaire de mathématiques, Paris, Dunod.
- Biddle M., Hudson D., 1973, *The Future of London's Past: a survey of the archaeological implications of planning and development in the nation's capital*, Rescue publication No. 4.

- Boffet A., 2002, "L'analyse des villes", in Ruas A. (dir.), *Généralisation et représentation multiple*, Paris, Hermès, 225-240.
- Bouillé F., 1977, *Un modèle universel de banque de données simultanément partageable, portable, répartie*. Thèse d'Etat es sciences, Université de Paris VI, Paris.
- Cheyland J.-P., 2001, "Time and Spatial Database, a Conceptual application Framework" in Frank A., Raper J., Cheyland J.-P. eds, 2001, *Life and Motion of Socio-Economic Units*, GISDATA 8, London, Taylor & Francis.
- Cheyland J.-P., 2007, "Les processus spatio-temporels : quelques notions et concepts préalables à leur représentation", *M@ppemonde*, No.87.
(<http://mappemonde.mgm.fr/num15/articles/art07303.html>).
- Egenhofer J. M., 1988, Golledge G R., *Spatial and Temporal Reasoning in Geographic Information*, Oxford, University Press.
- Frank A., Raper J., Cheyland J.-P. eds, 2001, *Life and Motion of Socio-Economic Units*, GISDATA 8, London, Taylor & Francis.
- Frank A., 2001, "Socio-Economic Units: Their Life and Motion" in Frank A., Raper J., Cheyland J.-P. eds, 2001, *Life and Motion of Socio-Economic Units*, GISDATA 8, London, Taylor & Francis.
- Galinié H., 2000, *Ville, espace urbain et archéologie*, coll. Sciences de la Ville No.16, Tours, MSH Villes et territoires.
- Galinié H., Rodier X., 2002, "ToToPI, un outil d'analyse urbaine", *Les petits cahiers d'Anatole* No11, (http://www.univ-tours.fr/lat/pdf/F2_11.pdf).
- Galinié H., Rodier X., Saligny L., 2004, "Entités fonctionnelles, entités spatiales et dynamique urbaine dans la longue durée", *Histoire & Mesure*, vol. XIX, No.3/4, Paris, CNRS, 223-242.
- Gauthier E., 2008, "Consumption and circulation of prehistoric products in Europe: characterization of spatial evolutions using map algebra", in Posluschny A., Lambers K., Hertog I. (eds.), 2008, *Layers of Perception*, Proceedings of the 35th International Conference on Computer Applications and Quantitative Methods in Archaeology (CAA) Berlin, Germany, April 2-6, 2007, *Kolloquien zur Vor- und Frühgeschichte*, vol. 10, Bonn.
- Highway C., 1972, *The erosion of history, Archaeology and Planning in Towns. A study of historic towns affected by modern development in England, Wales and Scotland*, Londres, Council for British Archaeology.
- Johnson I., 2004, "Putting Time on the Map: Using TimeMap for Map Animation and Web Delivery", *GeoInformatics*, July/August 2004.
- Langlois P., 2005, "Complexité et systèmes spatiaux", in Guermond Y. (dir.), *Modélisations Géographiques*, Traité IGAT, Paris, Hermès.
- Lardon S., Libourel T., Cheyland J.-P., 1999, "Concevoir la dynamique des entités spatio-temporelles", in Représentation de l'espace et du temps dans les SIG, *Revue internationale de géomatique*, No9, 45-65.
- Laurent A., 2007, "L'espace urbanisé ancien" in Galinié H., dir. - *Tours antique et médiéval, lieux de vie, temps de la ville*, Tours, FERACF, 440 p. ill. Cdrom (Suppl. RACF ; 30), 41.
- Le Ber F., Ligozat G., Papini O. (dir.), 2007, *Raisonnements sur l'espace et le temps : des modèles aux applications*, Traité IGAT, Paris, Hermès.

- Lefebvre B., 2006, Construction et déconstruction de l'espace urbain : une modélisation en volume du bâti ancien, *MIA Journal*, vol. 0, No.2, VII, (<http://www.map.archi.fr/mia/journal/>).
- Lefebvre B., 2010, "How to show Dynamics of Urban Fabric : Cartography and Chronography", in *Online proceedings of the 37th annual international conference on Computer Applications and Quantitative Methods in Archaeology (CAA) 2009*, Williamsbourg, Virginie, USA, March 22-26, 2009, (http://www.caa2009.org/articles/Lefebvre_Contribution224_a.pdf).
- Lefebvre B, Rodier X., Saligny L., 2008, "Understanding Urban Fabric with the OH_FET model based on Social Use, Space and Time" in *Archeologia e Calcolatori*, No.19, 195-214, (http://soi.cnr.it/archcalc/indice/PDF19/16_Lefebvre.pdf).
- Lepetit B., 1988, *Les villes dans la France moderne (1740-1840)*, Paris, Albin Michel.
- Muller P., Dugat V., 2007, "Représentation en logique classique", in Le Ber F., Ligozat G., Papini O. (dir.), *Raisonnements sur l'espace et le temps : des modèles aux applications*, Traité IGAT, Paris, Hermès, 33-70.
- Nuninger L., Sanders L. et al., 2006, "La modélisation des réseaux d'habitat en archéologie : trois expériences", *M@ppemonde*, No.83. (<http://mappemonde.mgm.fr/num11/articles/art06302.html>).
- Nuninger L., Tourneux F.-P., Favory F., 2008, "From Archaeomedes to Archaeodyn", in Posluschny A., Lambers K., Hertog I. (eds.), 2008, *Layers of Perception*, Proceedings of the 35th International Conference on Computer Applications and Quantitative Methods in Archaeology (CAA) Berlin, Germany, April 2-6, 2007, *Kolloquien zur Vor- und Frühgeschichte*, vol. 10, Bonn.
- Olivier L., 2008, *Le sombre abîme du temps - Mémoire et archéologie*, Paris, Seuil.
- Ott T., Swiaczny F., 2001, *Time-Integrative Geographic Information Systems, Management and Analysis of Spatio-Temporal Data*, Berlin, Springer.
- Panopoulos G., Stamatopoulos A., Kavouras M., 2003, "Spatio-temporal generalization: the chronograph application", *Proceedings of the 21st International Cartographic Conference*, Durban, South Africa, 10-16 August 2003, (http://ontogeo.ntua.gr/publications/icc2003_panopoulos_etal..pdf).
- Peuquet D. J., 1994, "It's about time; A conceptual framework for the representation of temporal dynamics in geographic information systems", *Annals of the Association of the American Geographers*, No.3, 441-461.
- Pumain D., 1993, "L'espace, le temps et la matérialité des villes", in Lepetit B., Pumain D. (dir.), *Temporalités urbaines*, Paris, coll. « Villes », Anthropos, 135-157.
- Raper J., 2001, "Defining Spatial Socio-Economic Units: Retrospective and Prospective" in Frank A., Raper J., Cheylan J.-P. eds, 2001, *Life and Motion of Socio-Economic Units*, GISDATA 8, London, Taylor & Francis.
- Rodier X., 2000, "Le système d'information géographique TOTOPi : TOpographie de TOurs Pré-Industriel", *Les petits cahiers d'Anatole*, 4, 22/12/2000, 28600 signes, 5 fig., (http://www.univ-tours.fr/lat/pdf/F2_4.pdf).
- Rodier X., Galinié H., 2006, "Figurer l'espace/temps de Tours préindustriel : essai de chronochorématique urbaine", *M@ppemonde*, No83.. (<http://mappemonde.mgm.fr/num11/articles/art06303.html>).
- Rodier X., Saligny L., 2007, "Modélisation des objets urbains pour l'étude des dynamiques urbaines dans la longue durée", in, Batton-Hubert M., Joliveau T., Lardon S.(dir.), *SAGEO 2007*,

Rencontres internationales Géomatique et territoire, 2007(<http://www.emse.fr/site/SAGEO2007/CDROM/index.html>).

Rodier X., Saligny L., 2008, "Social features, Spatial features, Time features: An urban archaeological data model", in Posluschny A., Lambers K., Hertog I. (eds.), 2008, *Layers of Perception*, Proceedings of the 35th International Conference on Computer Applications and Quantitative Methods in Archaeology (CAA) Berlin, Germany, April 2-6, 2007, Kolloquien zur Vor- und Frühgeschichte, vol. 10, Bonn.

Rodier X., Saligny L., Lefebvre B., Pouliot J., 2010, "ToToPI (Topographie de Tours Pré-Industriel), a GIS for understanding urban dynamics based on the OH_FET model (Social Use, Space and Time)", in Fricher B., Crawford J., Koler D. (eds), 2010, *Making History Interactive*, Computer Application and Quantitative Methods in Archaeology (CAA), Proceedings of the 37th International Conference, Williamsburg, Virginia, USA, March 22-26, 2009, BAR International Series 2079, Oxford, Archeopress, 337-349.

Ruas A. (dir.), 2002, *Généralisation et représentation multiple*, Paris, Hermès.

Saligny L., 2004, "La modélisation des entités spatiales" in *Informatisation des documents d'évaluation du patrimoine archéologique des villes de France*, Tours, Ministère de la Culture et de la Communication, Centre National d'Archéologie Urbaine, 35-38.

Saint-Gérand T., 2005, "Comprendre pour mesurer... ou mesurer pour comprendre ?", in Guermont Y. dir., 2005, *Modélisations Géographiques*, Traité IGAT, Paris, Hermès.

Thériault M., Claramunt C., 1999, "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, 67-99.

Van Es W., Poldermans J., Sarfatij H., 1982, *Het bodemarchief bedreigd : archeologie en planologie in de binnensteden van Nederland*, Amersfoort.

NOTES

1. *Documents d'évaluation du patrimoine archéologique des villes de France*, 21 documents publiés depuis 1990 par le Centre National d'Archéologie Urbaine, Ministère de la Culture et de la Communication, Tours.

2. *Grappe planaire topologique sans isthme* : 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 leurs extrémités. Un graphe planaire topologique est une représentation d'un graphe planaire G sur un plan.

Dans un graphe planaire topologique, une face est par définition une partie du plan limitée par des arcs de sorte que deux points de la face puissent toujours être reliés par un trait continu ne rencontrant ni sommet, ni arc. Deux faces sont adjacentes si elles ont un arc en commun. Deux faces sont opposées si elles ont un sommet commun sans être adjacentes. Un graphe planaire topologique sans isthme est un graphe planaire topologique sans *arc pendant*. Cf. C. Berge, 1970. (Définition empruntée à Françoise Pirot : Glossaire du n° 3/4 - vol. XIX, *Systèmes d'information géographique, archéologie et histoire*, revue *Histoire & Mesure* 2004)

3. Voir l'annuaire des opérations de terrain en milieu urbain 2005, en ligne sur le site du Cnau <http://www.culture.gouv.fr/culture/cnau/fr/index.html>

RÉSUMÉS

Le principe de compréhension de l'espace urbain proposé consiste à aborder la ville comme un ensemble d'objets complexes selon une approche systémique. Le système ville considéré pour étudier la fabrique de la ville dans la longue durée est constitué de trois dimensions dont relèvent les objets historiques de l'échelle de la fouille à celle de l'espace urbanisé ancien : fonctionnelle (usage social), spatiale (localisation, étendue et morphologie) et temporelle (datation, durée et chronologie). L'objet historique constitue l'unité analytique de l'espace étudié. Il est le produit cartésien des trois ensembles Fonction, Espace, Temps dont il est issu. Partant de ce processus, l'Objet Historique (OH) est déstructuré en trois types d'objets simples, l'entité fonctionnelle (EF), l'entité spatiale (ES) et l'entité temporelle (ET).

- L'approche thématique de l'OH en milieu urbain est fonctionnelle, organisée selon un thésaurus hiérarchisé.

- L'espace, ensemble le plus formalisé des trois, est structuré sur le modèle d'un graphe planaire topologique sans isthme.

- Le temps, toujours considéré comme continu et linéaire, sera modélisé par analogie à l'espace en utilisant la topologie temporelle définie en intelligence artificielle.

Les associations entre les trois ensembles caractérisent chacune une interaction (fonction-espace, fonction-temps, espace-temps ou encore fonction-espace-temps). Elles permettent, au-delà de la reconstruction de l'OH, l'observation des transformations urbaines par l'analyse des distributions et de la cartographie de chacune des entités seule ou deux à deux.

L'originalité de la démarche réside dans une approche qui permet de ne pas partir de la cartographie d'un phénomène à un temps t_1 et de la comparer à celle d'un temps t_2 , mais de l'aborder indifféremment selon une entrée fonctionnelle, spatiale ou temporelle. La valeur heuristique de cette modélisation réside dans le passage de la description (quoi, où, quand) à la compréhension des phénomènes de transformation (comment, pourquoi).

The proposed principle for understanding the urban fabric is based on considering the town as a set of complex objects, taking a systemic approach. The town system used to study the urban fabric over large time spans is composed of three sub-systems relating to historical objects from the level of the excavation to that of the former urban space: function (social use), space (location, surface area and morphology) and time (dating, duration and chronology). The historical object is the analytical unit of the space studied. It is the Cartesian product of the three sets, Social use, Space and Time, from which it stems.

On the basis of this process, the Historical Object (OH) is broken down into three types of simple object, functional (EF), spatial (ES) and temporal (ET).

- The thematic approach to the OH in an urban environment is based on social use, organized according to a hierarchical thesaurus.

- Space, the most formalized of the three sets, is structured on the model of a planar topological graph without isthmi.

- Time, always considered as continuous and linear, will be modelled by analogy with space using temporal topology defined in the field of artificial intelligence.

The relationships between these three sets each characterize an interaction (social use-space, social use-time, time-space, or function-space-time). In addition to reconstructing the OH, they

allow urban changes to be observed by analyzing the distributions and mapping of each of the entities singly or two-by-two.

The originality of this procedure lies in its approach whereby it is possible to start not from the mapping of a phenomenon at a time t_1 and comparing it to that at a time t_2 , but to look at it in the same way whether its input is social use, space or time. The heuristic value of this modelling lies in the shift from description (what, where, when) to understanding the phenomena of change (how, why).

INDEX

Keywords : city, geographical information system, historical sciences, modelling, space, space-time, spatial dynamics, time, urban function

Mots-clés : dynamiques spatiales, espace, espace-temps, fonctions urbaines, modélisation, sciences historiques, Système d'information géographique, temporalité, temps, ville

AUTEURS

XAVIER RODIER

Réseau Information Spatiale et Archéologie <http://isa.univ-tours.fr> ; Laboratoire Archéologie et Territoires UMR 6173 CITERES, Université de Tours – CNRS, B.P. 60449 – 37204 Tours cedex 03, xavier.rodier@univ-tours.fr

LAURE SALIGNY

Réseau Information Spatiale et Archéologie <http://isa.univ-tours.fr> ; Maison des Sciences de l'Homme de Dijon UMS 2739, Université de Bourgogne – CNRS, B.P. 26611 – 21000 Dijon, laure.saligny@u-bourgogne.fr