Les ateliers de tailleurs de pierre du cloître de la cathédrale de Tolède (Espagne)

Analyse exploratoire

The Stonemasons' Workshops of the Cloister of Toledo Cathedral (Spain):

Exploratory Analysis

Amalia María Yuste Galán, Jean Passini et Françoise Pirot

Édition électronique

URL : <https://journals.openedition.org/histoiremesure/5440>

DOI : 10.4000/histoiremesure.5440

ISSN : 1957-7745

Éditeur

Éditions de l'EHESS

Édition imprimée

Date de publication : 31 décembre 2016

Pagination : 41-69

ISBN : 978-2-7132-2522-2

ISSN : 0982-1783

Référence électronique

Amalia María Yuste Galán, Jean Passini et Françoise Pirot, « Les ateliers de tailleurs de pierre du cloître de la cathédrale de Tolède (Espagne) », *Histoire & mesure* [En ligne], XXXI-2 | 2016, mis en ligne le 31 décembre 2018, consulté le 02 juin 2022. URL : <http://journals.openedition.org/histoiremesure/5440> ; DOI : <https://doi.org/10.4000/histoiremesure.5440>

Les ateliers de tailleurs de pierre du cloître de la cathédrale de Tolède (Espagne) Analyse exploratoire

**Amalia María Yuste Galán *,
Jean Passini ** & Françoise Pirot *****

Résumé. Le relevé des signes lapidaires et leur classification ont fait l'objet de nombreuses études en Europe. Le cloître de la cathédrale de Tolède (Espagne), commencé en 1389 par l'archevêque Pedro Tenorio, compte, dans sa structure actuelle, plus de 3 500 pierres marquées de signes. Cet article a pour objectif d'analyser les signes lapidaires pour comprendre les étapes de la construction du cloître en appliquant, aux données géo-spatiales réunies, deux méthodes d'analyses spatiales de proximité : l'une multivariée (regroupements par agrégats), l'autre exploratoire (NEAR). Cette double analyse met en lumière l'existence d'ateliers de tailleurs de pierre et une chronistique des étapes de la construction du cloître entre 1389 et 1418, date de son achèvement.

Mots-clés. construction, culture matérielle, patrimoine, corporations, informatique, modélisation spatiale, géostatistiques, Espagne, Moyen Âge

Abstract. The Stonemasons' Workshops of the Cloister of Toledo Cathedral (Spain): Exploratory analysis. The inventory of masons' marks, and their classification, has been widely conducted in Europe. Archbishop Pedro Tenorio initiated the building of the cloister of Toledo Cathedral in 1389, and its current structure numbers more than 3,500 sign-marked stones. The purpose of this article is to use the masons' marks as a means of understanding the stages of the construction of the cloister. Thus, two methodologies using proximity toolsets for spatial analysis have been applied to the geodatabase collected: on the one hand, the grouping of aggregates, and, on the other hand, NEAR toolset analysis. This dual analysis sheds light on the existence of stonemasons' workshops and enables us to establish the chronistic steps of the building of the cloister between 1389 and 1418, when it was completed.

Keywords. construction, material culture studies, heritage, corporations, IT, spatial modelling, geostatistics, Spain, Middle Ages

* Universidad Complutense de Madrid. E-mail : amaliayuste@gmail.com

** Laboratoire de démographie et d'histoire sociale (LaDéHiS, UMR 8558, CNRS et EHESS), 190 avenue de France, 75013 Paris. E-mail : jean.passini@ehess.fr

*** Membre associée au Centre de recherches sur le Brésil colonial et contemporain (CRBC), laboratoire Mondes américains (UMR 8168, CNRS et EHESS). E-mail : pirot@msh-paris.fr

L'éperon rocheux de Tolède, qui domine le Tage à plus de 500 mètres d'altitude (Figure 1), au sud de l'étendue fertile de la Vega, a représenté, depuis l'Antiquité, un site privilégié favorable à l'implantation de diverses populations successives. La ville romaine devient la capitale du règne wisigothique au milieu du VI^e siècle, avant de devenir une ville islamique que le roi Alphonse VI occupe dans le dernier quart du XI^e siècle. Pendant deux siècles, Tolède continue à vivre sous l'influence de la culture musulmane. Il s'y superpose ou s'y juxtapose des églises, des synagogues, des mosquées, des rues commerçantes, des ruelles, etc., ce qui confère aujourd'hui à la ville de Tolède une structure et une physionomie très particulières.

Figure 1. Le site de la cathédrale de Tolède

En haut: Gravure du cartographe Franz Hogenberg, *Civitates orbis terrarum*, Cologne, 1572
Source: Université hébraïque de Jérusalem et Bibliothèque nationale d'Israël

En bas: Plan cadastral drapé sur le modèle numérique de terrain de Tolède

Dès 1086, la consécration de la grande mosquée au culte chrétien sous l'invocation de Santa María est accompagnée du changement de l'orientation des fidèles, de l'installation des cloches dans l'ancien minaret et des meubles nécessaires à la liturgie. L'église Santa María est utilisée comme église principale pendant plusieurs décennies sans modification importante¹. Ce n'est que deux siècles plus tard que la construction de la nouvelle cathédrale est entreprise, une fois la reprise du territoire castillan aux Arabes consolidée, en 1212, par la victoire décisive des chrétiens sur les Almohades à la bataille de Navas de Tolosa.

Figure 2. *Interprétation du plan médiéval de la cathédrale*

1. A. ALMAGRO-GORBEA *et al.*, 2011, p. 250-251.

La cathédrale gothique de Tolède est édifiée en pierre, sous la direction d'un maître architecte, probablement d'origine française, selon un mode complètement nouveau par rapport aux coutumes locales, expression conjointe d'un nouveau pouvoir et de nouvelles techniques. Des formes artistiques islamiques se maintiennent dans l'édifice chrétien, par exemple l'utilisation des arcs polylobés qui décorent le triforium de la chapelle principale.

La pose de la première pierre a lieu vers 1226², sous l'autorité de l'archevêque Rodrigo Jiménez de Rada. Les travaux commencent par le chevet sur un terrain occupé par un marché. Ils se poursuivent par la nef et les collatéraux. Le bâti enveloppe progressivement l'ancienne mosquée. La façade occidentale étant achevée, les murs extérieurs de la cathédrale sont fermés en 1337.

La deuxième campagne porte sur le cloître, qui s'implante à l'emplacement du patio et de l'ancienne cour aux ablutions de la grande mosquée. Le cloître est achevé vers 1418. La grande tour est mise en chantier, sur l'ancien minaret, pendant l'année 1426³.

L'hypothèse du plan originel de la cathédrale est celle d'un carré long de direction ouest-est, composé de deux carrés de 54,60 mètres de côté⁴; au nord de ce carré long, en équerre par rapport à lui et le prolongeant, un carré de 54,60 mètres de côté constitue le cloître (Figure 2).

1. Un espace : le cloître de la cathédrale

Les chanoines des chapitres qui desservaient les églises cathédrales étaient soumis à une règle presque monastique, dont l'application nécessitait des lieux réguliers près de la cathédrale, dont un cloître, espace fermé, séparé de l'extérieur par un grand mur. À Tolède, l'ancienne cour aux ablutions de la grande mosquée fait fonction de cloître dès la fin du XI^e siècle, et ce pendant deux siècles au moins⁵. Car, si l'idée d'un grand cloître apparaît dans le premier plan de la cathédrale, sa réalisation ne débute que lors de la mise en route du second complexe architectural : un grand patio quadrangulaire entouré de quatre galeries et d'arcades, formant un vaste complexe adossé à la nef de la cathédrale et à la tour principale.

2. Selon les *Annales tolédanes*, la cérémonie de la pose de la première pierre est célébrée en 1226. Cependant, le commencement des travaux a dû avoir lieu plusieurs années auparavant, comme semble l'indiquer la bulle pontificale de 1222 dédiée au financement de la cathédrale (É. LAMBERT, 1985 [1977], p. 197).

3. A. YUSTE, 2010, p. 162.

4. A. YUSTE & J. PASSINI, 2011, p. 1479.

5. Bien que, peu d'années après avoir restauré la chaire épiscopale, le chapitre cathédrale abandonne la vie monastique, le cloître continue de structurer les espaces autour de l'église.

Le cloître ancien s'étant révélé trop étroit, son agrandissement est envisagé, imposant l'achat de terrains, la démolition de maisons et de boutiques du quartier commercial de l'Alcana, accolé au flanc nord de la cathédrale⁶. La réalisation du cloître gothique a nécessité l'agrandissement de l'espace de la cour de la grande mosquée sur un terrain en forte pente, depuis le collatéral nord, en creusant dans la roche, sur une dénivellée qui pouvait atteindre, en certains endroits, 8 mètres en dessous de la rue. La pierre extraite sur le côté nord du cloître est utilisée comme blocage dans la construction des murs de celui-ci.

Les quatre galeries d'un cloître haut de 10 mètres, larges d'environ 7,80 mètres, se mettent en place le long de la cathédrale. Cette dernière communiquait avec le cloître par une porte, qui s'élevait dans l'axe de la porte située sur le collatéral sud, dite Puerta Llana ; de cette porte du cloître, aujourd'hui disparue, subsistent, dans l'actuelle chapelle du baptême (Capilla del Bautismo), trois marches en pierre (Figure 3).

Figure 3. *Le cloître : ses entrées successives*

A. XIII^e siècle : au niveau de l'actuelle chapelle du baptême

B. XV^e siècle : la porte de Santa Catalina, à l'entrée de la galerie Est qui conduit à la chapelle de San Blas

C. Chapelle funéraire de Pedro Tenorio ou de San Blas

6. J.-P. MOLÉNAT, 1982, p. 43-52 ; R. IZQUIERDO, 1980, p. 166-69.

L'archevêque don Pedro Tenorio, qui a posé la première pierre du cloître en 1389⁷, décide d'y élever sa chapelle funéraire, qu'il dédie à San Blas ; il en confie l'exécution, en 1397, au maître de la cathédrale Rodrigo Alfonso⁸. Les noms de ceux qui y travaillent, en 1398 et 1399, nous sont connus : ce sont Alvar Martinez, Juan Alfonso, Juan Diaz, Alfonso Ferrandez, le maître charpentier Aly et leurs ouvriers. En janvier 1399, ils procèdent au nettoyage de la chapelle pour célébrer la fête de San Blas. La sépulture du prélat est préparée, le 17 mai 1399, un jour avant sa mort. La chapelle est achevée en 1400⁹.

De la pose de la première pierre, en 1389, à la fin de la réalisation du projet, en 1418, les travaux du cloître ont duré une trentaine d'années. Les structures à portiques, commencées par le maître architecte Rodrigo Alfonso, sont achevées dans le premier tiers du xv^e siècle par maître Alvar Martínez. Elles présentaient un seul niveau et de grandes arcades décorées. Le maître architecte Juan Guas est chargé, dans le dernier tiers du xv^e siècle, de compléter la décoration des grands arcs qui s'ouvrent sur le patio¹⁰.

À peine achevé, le cloître subit des transformations. Le cardinal Cisneros, au début du xvi^e siècle, préoccupé de faire revenir le chapitre cathédral à la vie communautaire, fait construire un deuxième étage de chambres. Le poids de cette surélévation, joint à la fragilité de la pierre utilisée pour les voûtes du cloître et à l'humidité du sol, entraîne de graves désordres dans la structure du cloître, compromettant sa stabilité¹¹. Au début du xvi^e siècle, les réparations commencent : le calcaire des piliers est remplacé par du granit et le diamètre des contreforts est augmenté. De plus, malgré la vive opposition de nombreux chanoines, les claustras de pierre sculptée sont démontés,

7. En 1339, le cardinal don Gil de Albornoz évoque son prédécesseur, don Jimeno de Luna, faisant démolir des maisons et des boutiques du chapitre pour pouvoir faire le cloître, ainsi que les tailleurs de pierre qui y travaillaient déjà. L'importance et la complexité du projet impliquent que cette première phase s'étende sur au moins cinquante ans, sous la direction successive de plusieurs archevêques, non seulement pour la mise en route du projet, mais pour sa poursuite, la libération de l'espace nécessaire et, le plus coûteux, préparer le terrain pour pouvoir accueillir le futur complexe du cloître. Une fois délimitée la superficie quadrangulaire qu'occupera le cloître, un grand mur a dû être édifié, mur dont quelques restes persistent dans les constructions ultérieures. Ce mur de granite, d'environ 1,50 mètre d'épaisseur, qui dépassait en hauteur le niveau des voûtes, se terminait par une terrasse décorée par un avant corps. Sur cette terrasse, le cardinal Cisneros fera construire l'étage haut des appartements (A. YUSTE & J. PASSINI, 2013, p. 1047).

8. A. SÁNCHEZ-PALENCIA MANCEBO, 1985, p. 95.

9. A. SÁNCHEZ-PALENCIA MANCEBO, 1988, p. 30-31.

10. De cette période est conservé un grand nombre de paiements correspondant à la taille de blocs de granit pour les ouvertures de l'avant corps du cloître. Ces travaux se poursuivront jusqu'en 1486. ACT, OF. 788, Año 1484, f. 173r : « ... seys maestros que labraron piedra berroqueña para las claraboyas del antepecho de la claostra... » ; ACT, Diversos, X.3.A.4.16 coustu au I.7.1.10 (Años 1486-1488), f. 35r : « ... piedra de lo de Rodrigo Alfonso para las claraboyas e entablamentos... claraboyas e chambranas... » ; f. 36v : « ... piedras para claraboyas y chambranas las cuales mando el maestro Juan Guas que se pagasen por cuerdas... ».

11. P. NAVASCUÉS *et al.*, 2011, p. 62.

Figure 4. *Processus de géomatisation pour l'étude des pierres porteuses de signes lapidaires du cloître de la cathédrale de Tolède*

ÉTAPE 1

Travaux de terrain, cloître de la cathédrale de Tolède

- relevé des pierres porteuses ou non de signes lapidaires
- relevé des plans d'une travée
- relevé des plans des arcs extérieurs
- création des documents de travail pour localiser géographiquement les signes lapidaires
- récapitulatif des signes lapidaires répertoriés

ÉTAPE 2

Modélisation de la construction du cloître selon la méthode HBDS

- décomposition du cloître en phénomènes géographiques complexes : 24 travées
- décomposition du phénomène géographique complexe « travée » en phénomènes géographiques simples (constituants architectoniques) : pilier, arc, claveau, voûte, mur horizontal
- objet géographique d'étude : pierre porteuse de signe lapidaire
- création d'un identifiant unique pour chaque pierre porteuse de signe lapidaire en fonction des constituants architectoniques

ÉTAPES 3 et 4

Création d'une géodatabase sous ArcGis

Création des données géospatiales et thématiques

Les pierres sont matérialisées sous forme de polygone.

Géoréférencement des pierres marquées ou non :

Plan cadastral géoréférencé
ED50 UTM Zone 30

Plan du cloître géoréférencé

Analyse spatiale

- géotraitements
- statistiques spatiales sous ArcGis / Spatial statistical

Proposition d'une chronistique de la construction du cloître de la cathédrale de Tolède

Proposition d'une meilleure compréhension de l'organisation des équipes de tailleurs de pierre ainsi que la relation des maîtres entre eux et avec leur œuvre

laissant place à de grandes baies. Le jardin médiéval est supprimé. L'aspect original du cloître a été modifié en vue d'augmenter la luminosité et la circulation de l'air, mais on se rend vite compte que l'humidité persiste, que le soleil abîme les peintures et complique l'utilisation de l'espace. De nouvelles transformations sont entreprises, tendant à couvrir la cour du cloître, à refaire un jardin et à en moduler le niveau. Les travaux de sauvegarde de la structure se poursuivent jusqu'au ^{xx}^e siècle.

En raison des modifications incessantes auxquelles il a été soumis, le cloître de la cathédrale de Tolède représente un édifice particulièrement difficile à étudier. Que reste-t-il du cloître gothique ? Quels éléments sont susceptibles de faciliter la compréhension des étapes successives de l'édification du cloître du ^{xiv}^e au ^{xvi}^e siècle ? Les auteurs de cet article envisagent que l'étude des pierres porteuses de signes lapidaires puisse apporter une réponse à ces questions. Pour ce faire, ils ont appliqué à ces pierres porteuses de signes lapidaires relevées dans le cloître, d'une part un processus de géomatisation, d'autre part une analyse spatiale à l'aide de méthodes exploratoires (Figure 4) ; ils nous en livrent les résultats et les incertitudes.

2. Les signes lapidaires

De la carrière à la mise en œuvre sur le chantier, les pierres étaient successivement marquées par :

- des marques de carrière : le tailleur marquait les blocs pour qu'il soit possible de reconnaître leur provenance ;
- des marques personnelles d'identification du tailleur de pierre : chaque ouvrier marquait la pierre qu'il venait de tailler d'un signe personnel qu'il emportait de chantier en chantier (Figure 5) ;
- des marques d'appareil, indiquant le numéro de pose de tous les morceaux de pierre.

Ces signes lapidaires sont ceux soit d'un unique maître, soit d'un maître et de ses apprentis¹². Les tailleurs de pierre utilisaient les signes comme leur signature sur les pierres, mais aussi sur les contrats en reconnaissance de la paye reçue¹³. Le signe comme identifiant apparaît dans les règlements comme celui d'Admont en Styria (Autriche) daté de 1480 ; dans les tables de Saint Gall (Suisse) à la fin du ^{xvi}^e siècle ; dans la loge d'Édimbourg, où se conserve depuis 1599 la liste des maîtres tailleurs de pierres avec leur

12. Y. ESQUIEU *et al.*, 2007, p. 331-358.

13. Dans ce cas nous entendons les signes qui figurent sur les pierres taillées comme des marques d'identité, utilisées par les tailleurs de pierre pour identifier leur travail de façon individuelle plutôt que collective, sans toutefois oublier que les principaux maîtres tailleurs de pierre sur le chantier toledan disposaient durant le ^{xv}^e siècle d'un groupe de jeunes ou d'apprentis qu'ils formaient.

marque de reconnaissance ; et dans le triptyque des marques du musée des Travaux de Strasbourg¹⁴. Ces marques des tailleurs de pierre médiévaux ne sont pas indépendantes du contexte d'identification individuelle à une époque où l'écriture était le privilège de quelques-uns. La signature, au moyen d'un signe, était habituelle dans beaucoup de métiers au Moyen Âge¹⁵. Nous sont connues les marques de charpentier, de sculpteur, d'armurier, de peintre, de fabricant de papier, de potier, etc.¹⁶ De même, dans les ordonnances de la ville de Tolède est cité le livre des signes de la fameuse corporation des bonnetiers, au xvi^e siècle : « que reste pour maîtres examinés et peuvent avoir une boutique, des ouvriers et des apprentis, [...] tous ceux qui ont une marque dans le livre des marques¹⁷ ».

Figure 5. *Signes lapidaires (marques) les plus fréquents dans le cloître*

Niveau global	Marques	Nombre de marques
24	320
5	255
6	251
30	198
55	185
12	184
26	180
2	162
69	143
3	108
25	105
8	103
136	89
56	74
35	73
80	72
15	70
53	68
9	63
31	62
73	62
107	58
19	42

14. R. ROMERO, 2015, p. 43.

15. Dans les livres des travaux de la cathédrale de Tolède, on remarque que les maîtres des autres métiers dessinaient aussi leur signe comme signature.

16. J. L. MENÉNDEZ, 2007 ; J. L. PUENTE & J. M. SUÁREZ, 1983, p. 74.

17. A. MARTÍN GAMERO, 1858, p. 47.

Figure 6. Signature de sa
marque du tailleur de
pierre Francisco Díaz

Source. ACT, OF. 764, Año 1426,
f. 178v: «... Et puso aqui de su
mano esta señal», Francisco
Díaz, tailleur de pierre

Figure 7. Signe lapidaire n° 28

A. Le tracé
B. Travée 14, Arc2
C. Signature de Diego Alfonso, ACT, OF. 779, année
1463, f. 269r.

Dans les livres des chantiers de la cathédrale de Tolède sont réunis les dépenses et le paiement du travail, signés entre les chanoines responsables du chantier et les tailleurs de pierre. Dans les années 1426, le tailleur de pierre «a posé [sa marque] par sa main», comme preuve qu'il a reçu la quantité accordée pour la taille de la pierre (Figure 6). Plus tard, dans le livre de construction des édifices de 1463¹⁸, huit tailleurs de pierre apposent le signe de validation signifiant ainsi que la somme reçue est en conformité avec la somme prévue (Figure 7).

Malgré les rajouts, les changements, les modifications, les ravalements et les revêtements successifs de mortiers réalisés depuis le début de la construction du cloître, on observait, sur les murs de celui-ci, avant leur restauration, un nombre relativement élevé de pierres taillées portant des signes lapidaires¹⁹. Au cours des travaux de restauration, réalisés de 2008 à 2011, les marques de 3 800 pierres distribuées de façon aléatoire dans l'ensemble du cloître ont été relevées.

Le nombre des pierres marquées représente environ 20 % de la totalité des pierres taillées utilisées dans la construction du cloître médiéval²⁰. Nous considérons que la distribution aléatoire des pierres marquées dans le cloître atténue l'effet négatif que la proportion relativement importante de blocs non marqués pourrait faire peser sur les résultats.

Notre étude ne prend en compte ni les pierres taillées des trois portes, ni les signes lapidaires dont la fréquence est inférieure à 10 ; en conséquence, les différents géo-traitements portent sur un ensemble de 3 500 pierres marquées.

18. R. IZQUIERDO, 1983, p. 559-560.

19. Le mur périmétral du cloître n'a été observé que dans la partie haute au-dessus des voûtes pendant les travaux de restauration. Dans la partie inférieure, le mur périmétral est aveugle.

20. Le nombre total de pierres taillées marquées ou non est évalué à 19000.

Cet ensemble comprend 180 signes lapidaires différents, présents de une à 320 fois : le signe 24, 320 fois ; les signes 5 et 6, plus de 250 fois ; les signes 30, 55, 12, 26, 2, de 151 à 200 fois ; les signes 69, 3, 25 et 8 de 100 à 150 fois.

Figure 8. Numérotation des travées

A. Chapelle de San Blas
B. Porte de Santa Catalina

En raison de l'ampleur des données collectées, une base de données a été construite. Elle stocke les attributs relatifs aux pierres taillées constituant le cloître et sert à la mise en œuvre (Figure 4) d'un système d'information géographique²¹. À cette fin, le cloître est considéré comme un ensemble de phénomènes géographiques susceptibles d'être géo-référencés, les uns simples, les autres complexes. Il en va de même pour chacune des vingt-quatre travées du cloître, somme de phénomènes géographiques simples que sont les éléments architectoniques le constituant : piliers, arcs, claveaux, voûtains, clé de voûte, clé d'ogive, voûtes, rangées de blocs horizontaux. Ces éléments

21. La modélisation spatiale des phénomènes géographiques constitue la première étape de la préparation du système d'information géographique (SIG). Elle consiste en la décomposition des phénomènes géographiques complexes en phénomènes géographiques simples, selon la méthode HBDS. Dans le cas de cette étude, les travées représentent les phénomènes géographiques complexes et les éléments architectoniques, qui les composent, les phénomènes géographiques simples (F. PIROT & T. SAINT-GÉRAND, 2005, p. 62-66). HBDS : Hypergraph Based Data Structure, méthode de modélisation basée sur la théorie des graphes et celle des ensembles. Elle a été élaborée par François Bouillé, professeur de géologie, de géomatique et d'informatique à l'université Paris 6 (UPMC) et à l'École nationale des sciences géographiques (ENSG) de Paris.

architectoniques sont construits de pierres taillées, porteuses ou non de signes lapidaires et traitées comme objets géographiques dans cette étude.

Afin de créer l'objet géographique d'étude que représente une pierre taillée porteuse ou non de signes lapidaires, en fonction de la structure interne du cloître et de la localisation de celui-ci à l'intérieur de chacun des phénomènes simples et/ou complexes que sont les éléments architectoniques, il est nécessaire de structurer topologiquement les différents phénomènes géographiques simples et/ou complexes (Figure 4, étape 2).

Les travées sont numérotées de 1 à 24, en passant de la cathédrale au cloître par la porte de Santa Catalina, puis en déambulant dans le sens des aiguilles d'une montre : la travée n° 1 est située au sud-sud est (SSE) du cloître (Figure 8), immédiatement à gauche de la travée n° 24. La balustrade et les arcs extérieurs constituent la travée 0 (Figure 9).

Figure 9. *Modélisation et structuration des données géospatiales et thématiques*

A. Topologie des travées

B. Modélisation des données correspondant aux constituants architectoniques de chaque travée

Afin de créer numériquement l'objet géographique d'étude que représente chaque pierre taillée entrant dans la construction des différents phénomènes géographiques simples, un identifiant unique a été créé pour prendre en compte et matérialiser les différents composants architectoniques de chaque travée sachant que chaque d'eux est numéroté de 1 à n (Figure 10). Cet identifiant tient compte d'une part des aspects architecturaux du cloître, d'autre part de la topologie et des relations topologiques existantes entre ces composants.

Chaque travée dépend topologiquement aussi bien de la travée précédente que de la suivante ; de même, piliers, arcs, formerets, doubleaux,

appartiennent à deux travées jointives (Figure 9a). La codification tient compte de la description topologique des structures internes des travées. Il s'ensuit que chaque composant architectonique n'est compté qu'une seule fois. Une valeur unique a été attribuée aux piliers 2 et 3, et à l'arc 2 que partagent deux travées contiguës.

Les éléments architectoniques de chaque travée sont caractérisés comme suit (Figure 9b) :

- quatre piliers numérotés de 1 à 4 ;
- sept arcs numérotés de 1 à 7 ainsi définis :
 - * deux arcs formerets 1 et 3 : le petit formeret ou arc 1 (entre les piliers 1 et 2), contre le mur du cloître ; et le grand formeret ou arc 3 (entre les piliers 3 et 4) donnant sur le patio ;
 - * deux arcs doubleaux 2 et 4 : l'arc 2 entre les piliers 2 et 3 ; et l'arc 4 entre les piliers 4 et 1 ;
 - * deux arcs d'ogive 5 et 6 : l'arc d'ogive 5 unit les piliers 1 et 3, l'arc d'ogive 6 les piliers 2 et 4 ;
 - * un arc formeret extérieur au cloître, numéroté 7 ;
- des claveaux : chaque arc compte de trente-quatre à trente-six claveaux : l'arc étant divisé en deux parties, à droite et à gauche de la clé de voûte, les claveaux sont numérotés de 1 à 17 de la naissance de l'arc à la clé de voûte ;
- quatre voûtains numérotés de 1 à 4 : n° 1 entre les piliers 1 et 2 ; n° 2 entre les piliers 2 et 3 ; n° 3 entre les piliers 3 et 4 ; n° 4 entre les piliers 4 et 1 ;
- une clé de voûte d'ogive.

L'inventaire des signes lapidaires étant achevé, une géodatabase²² a été créée selon la structure mise au jour par la modélisation spatiale (Annexe 1). La structure de l'information spatiale et thématique a été faite selon un modèle topologique²³. Une partie de l'information contenue dans le SIG a été chargée à partir de la base de données archivant les attributs relatifs aux pierres taillées constituant le cloître²⁴. Puis, certaines données géospatialisées retenues ont été préparées afin d'être soumises aux géotraitements. Ainsi, chaque pierre du cloître, marquée ou non, géoréférencée, géospatialisée et matérialisée

22. La géodatabase est le modèle physique du SIG ; voir F. PIROT & T. SAINT-GÉRAND, 2005, p. 62-66.

23. La topologie, appelée aussi « science des voisinages », formule mathématiquement les relations spatiales entre les différents objets en terme de proximité, de contiguïté et de continuité ou d'inclusion. C'est une façon de structurer l'information spatiale et de rendre explicites les relations spatiales des objets entre eux ; A. VARET-VITU & F. PIROT, 2004, p. 377-397.

24. Chaque pierre taillée est géo-référencée à partir du plan cadastral de la ville de Tolède, le système de référence spatiale étant ED 1950 UTM Zone 30N.

spatialement par un polygone, est considérée comme un objet géographique unique, défini par un identifiant unique numérique nommé « TraMarcas²⁵ ». Celui-ci réunit les caractéristiques et les localisations de chaque pierre dans l'espace du cloître, à savoir la travée, le pilier, l'arc, le claveau, le voûtain, la rangée horizontale composant un mur et la marque gravée dans la pierre, ce que présente le Tableau 1.

Tableau 1. *Calcul de l'identifiant unique numérique*

<i>Pierre taillée porteuse du signe lapidaire</i>	<i>travée</i>	<i>pilier</i>	<i>arc</i>	<i>claveau</i>	<i>voûtain</i>	<i>rangée horizontale</i>	<i>marque</i>
<i>TraMarcas</i>	<i>tramo</i>	<i>pilar</i>	<i>arco</i>	<i>dovela</i>	<i>bóveda</i>	<i>rangée_hor</i>	<i>marcas</i>
1204061600000024	12	04	06	16	00	00	024

Une première description de la distribution des pierres taillées marquées du cloître est réalisée tant au niveau du cloître qu'au niveau de la travée. Le tableau de la Figure 10 présente l'ensemble des pierres taillées marquées qui apparaissent au niveau du cloître un nombre de fois supérieur ou égal à 10 : les lignes du tableau correspondent aux marques, les colonnes aux travées du cloître, et chaque maille du tableau indique le nombre de fois qu'apparaît une marque pour une travée considérée. Les lignes sont regroupées en fonction de la similarité des profils selon le principe de la matrice Bertin. Au niveau du cloître, le recours à la matrice de Bertin révèle le nombre de fois qu'apparaît un même signe lapidaire dans chacune des travées, sans oublier que seules les marques présentes plus de dix fois font l'objet du traitement. Elle présente d'une part la fréquence d'une marque dans chaque travée du cloître, d'autre part le nombre de pierres marquées par travée. Ainsi, les travées 5, 7, 8, 11 et 13 comportent, chacune, plus de cent pierres marquées.

La carte de la Figure 10 permet en outre de visualiser, d'une part, la distribution spatiale des marques les plus fréquentes par travée mises en évidence dans la matrice Bertin et, d'autre part, la géolocalisation et la géo-spatialisation des différents tailleurs de pierre travaillant dans l'espace du cloître. Ces marques sont matérialisées par des points géoréférencés dont la couleur correspond à celle indiquée dans la matrice.

25. Calcul de l'identifiant unique numérique : $TraMarcas = [tramo] \times 10000000000000 + [pilar] \times 100000000000 + [arco] \times 1000000000 + [dovela] \times 1000000 + [bóveda] \times 100000 + [rangée_hor] \times 1000 + [marcas]$.

Figure 10. Distribution spatiale des tailleurs de pierre au sein de l'espace du cloître

A. Matrice Bertin: 3 groupes distincts (bleu, vert, rouge) de fréquences des marques par travée
B. Plan du cloître: répartition spatiale des 3 groupes de fréquences des marques

3. Les ateliers de tailleurs

L'enjeu d'une exploitation de la distribution spatiale des 3 500 marques du cloître est de mettre en lumière l'existence d'ateliers de tailleurs de pierre. Ainsi l'ensemble des données a-t-il été traité selon une méthode d'analyse de statistique spatiale²⁶ : la méthode des regroupements par agrégats (*grouping analyst*²⁷). Pouvant être appliquée avec ou sans contrainte spatiale, cette méthode regroupe des entités spatiales similaires – en l'occurrence les pierres marquées. Dans le cas présent, nous avons intégré une contrainte spatiale afin de regrouper spatialement les pierres marquées proches, et avons choisi pour cela la méthode des plus proches voisins (dite kPPV ou kNN, pour *k Nearest Neighbor*) où la distance euclidienne est retenue pour définir les proximités entre les données et la valeur *k* du nombre de voisins les plus proches prend deux valeurs, à savoir *k* = 15 et *k* = 30 (Figure 11).

Cependant, même avec une contrainte spatiale imposée, il reste une multiplicité de découpages possibles, qui correspondent à un niveau donné d'observation, à un certain degré de généralisation. Une grande partie du travail de l'analyse spatiale consiste à explorer quels sont les regroupements d'unités de base qui sont les plus pertinents. Dans le premier temps de notre étude, quatre découpages – en quinze, trente, cinquante et soixante-douze groupes – ont été testés ; seuls les découpages en quinze et soixante-douze groupes ont été retenus dans cet article.

3.1. Découpage en quinze groupes

Les résultats du traitement présentent une répartition des quinze groupes qui sont d'inégale importance. Observons les quatre groupes qui réunissent plus de dix signes lapidaires présents, chacun, plus de dix fois :

- le groupe 3, qui réunit 52 signes lapidaires, présents à la fois dans les corniches, et dans les travées 11 à 24, au nord et à l'est du cloître ;
- le groupe 13, réunit 19 signes lapidaires présents, à la fois, dans les corniches et dans les travées 1 et 2, au sud du cloître ;
- le groupe 11, réunit 18 signes lapidaires présents, à la fois, dans les corniches, et dans les travées 6, 7 et 8, à l'ouest ;
- le groupe 5, réunit 12 signes lapidaires, absents des corniches, mais présents dans les travées 4 et 5, au sud du cloître.

26. La statistique spatiale étudie des phénomènes observés sur un ensemble spatial. Elle se différencie de la statistique classique par le fait que les observations sont dépendantes. Contrairement aux statistiques traditionnelles (aspatiales ou non spatiales), les statistiques spatiales intègrent directement l'espace et les relations spatiales dans leurs mathématiques.

27. Sous ArcGis, voir <http://desktop.arcgis.com/fr/arcmap/10.3/tools/spatial-statistics-toolbox/grouping-analysis.htm>.

Figure 11. *Classification sous contrainte spatiale des 15 groupes de marques du cloître de la cathédrale de Tolède*

Détermination des groupes de marques en fonction des relations spatiales

Classification en 15 groupes

1	6	11
2	7	12
3	8	13
4	9	14
5	10	15

Géotraitements

- Méthode de classification : regroupements par agrégats avec contraintes spatiales
- Contraintes spatiales : K plus proches voisins (KNN)
- Nombre de voisins immédiats : 30

Les autres groupes, qui réunissent moins de dix signes lapidaires, sont les suivants :

- les groupes 6, 7, 8, 14 et 15, absents des corniches mais présents dans les travées 4 (groupe 15), 5 (groupes 6 et 8), 9 (groupe 14), 15 et 16 (groupe 7) ;
- les groupes 1, 9, 10, 12, présents à la fois dans les corniches et la travée 9 (groupe 9) ou les travées 1 et 2 (groupe 12).

- Les signes lapidaires à l'intérieur du groupe 3

La distribution des signes lapidaires à l'intérieur du groupe 3 apparaît comme suit :

- quatre signes lapidaires – 5, 6, 26, 12 – sont retrouvés de 129 à 146 fois, soit une fréquence du simple au double par rapport aux autres signes lapidaires, ce qui leur confère une grande pertinence ;
- les signes 55, 80, 2 et 8 sont présents entre 52 et 69 fois (les signes lapidaires 80 et 55 sont présents entre 62 et 69 fois) ; le signe lapidaire 80 n'est présent que dans les deux travées 22 et 23 de la galerie Est, tandis que la marque 55 couvre les travées de 17 à 22, c'est-à-dire le départ de la galerie de la chapelle de San Blas
- les signes lapidaires 24, 3, 31 et 25 se rencontrent de 39 à 43 fois ;
- les marques 2 et 8 se cantonnent dans la galerie Nord.

L'analyse de la distribution des composantes du groupe 3 dans les travées Nord (numérotées de 12 à 17) et Est (de 18 à 24) du cloître montre qu'un signe est plus fréquent dans chacune d'elles (Figure 11).

- Les signes lapidaires à l'intérieur des autres groupes (13, 11 et 5)

Le groupe 13 est présent dans les travées 8, 9 et 10 de la galerie Ouest. Les signes lapidaires fréquents plus de dix fois y sont les suivants : le signe 24 présent 65 fois, dont 43 fois dans la travée 10 ; le signe 30 présent 44 fois, dont 22 dans la travée 10 ; le signe 2, 22 fois, dont 17 dans la travée 10 ; le signe 81, 12 fois dans la travée 9 et uniquement là. Notons que le tailleur porteur du signe 53 a marqué huit pierres dans la travée 9.

Le groupe 11 est présent dans les travées 6, 7 et 8 de la galerie Ouest. Les signes lapidaires les plus fréquents y sont : le signe 24 présent 63 fois, dont 35 fois dans la travée 8, et 28 fois dans la 7 ; le 30 présent 62 fois, dont 31 dans la travée 7, 20 dans la travée 8 et 11 dans la travée 6 ; le 2 présent 19 fois, dont 14 dans la travée 7.

Le groupe 5 est présent dans les travées 4 et 5 de la galerie Sud. Les signes lapidaires les plus fréquents y sont les suivants : le signe 55 présent

33 fois, dont 16 fois dans la travée 4 et 17 dans la travée 5 ; le signe 24 présent 28 fois, uniquement dans la travée 5 ; le signe 69 présent 27 fois, uniquement dans la travée 5 ; le signe 30 présent 26 fois, dont 11 fois dans la travée 4 et 15 dans la travée 5 ; le signe 6 présent 21 fois, dont 5 fois dans la travée 4 et 16 dans la travée 5.

Ainsi, l'analyse du découpage en quinze groupes conduit à formuler les deux points suivants :

1. Les quatre tailleurs de pierre porteurs des signes lapidaires 5, 6, 26 et 12 ont travaillé ensemble à l'édification des travées de la galerie Nord ; les tailleurs porteurs des signes lapidaires 55, 53, 80, 33, 25 et 24, se sont joints aux précédents dans les travées Est.

2. Les trois tailleurs de pierre porteurs des signes lapidaires 24, 30 et 2 ont travaillé ensemble à l'édification des travées 6, 7, 8, 9, 10 de la galerie Ouest ; les tailleurs porteurs des signes 81 et 53 sont aussi intervenus dans la galerie Ouest mais seulement dans la travée 9.

3.2. Découpage en soixante-douze groupes

Dans le découpage en soixante-douze groupes, comme dans le précédent, les groupes sont d'inégale importance : dans trente-six d'entre eux, un signe lapidaire est au moins présent plus de dix fois.

La distribution de ces groupes conduit à proposer de considérer qu'un tailleur de pierre joue un rôle déterminant dans la réalisation de chaque travée. Il s'entoure d'une équipe de deux à quatre personnes, constituant ainsi un atelier. Treize tailleurs de pierre semblent particulièrement impliqués dans la construction de l'ensemble des travées ; ils portent les signes lapidaires 55, 5, 6, 80, 25, 24, 26, 12, 8, 30, 69, 2 et 21 (Figure 12). Ces signes se distribuent, comme suit, dans chacune des quatre galeries :

- galerie Est : 55, 5, 6, 80, 25 et 24 ;
- galerie Nord : 26, 6, 12, 8, 5 et 2 ;
- galerie Ouest : 12, 24 et 30 ;
- galerie Sud : 69, 55, 30 et 5.

L'observation de la distribution des signes lapidaires dans chaque travée (Figure 12) fait apparaître que c'est dans les travées 5 et 18 que l'on trouve le plus d'intervenants tailleurs de pierre.

On est tenté de considérer que la travée 18 a été le point de départ de la construction du cloître, tandis que la travée 5, adjacente et liée à la tour de la cathédrale, en sera le point d'achèvement.

Figure 12. Classification des marques en 72 groupes : représentation des marques les plus fréquentes dans chaque travée

Nous formulons l'hypothèse que cinq ateliers principaux ont assumé l'édification de l'ensemble du cloître. Chaque atelier était dirigé par des tailleurs portant les marques 6 (dix travées), 5 (huit travées), 24 (huit travées), 55 (sept travées) ou 12 (six travées).

Le tailleur porteur de la marque 6 est présent dans dix travées ; les tailleurs porteurs des signes 5, 12, 69, 20 et 53 s'y associent, et moins fréquemment les signes 26, 2 et 36.

L'atelier de la marque 5 a une grande implication dans huit travées, cet atelier est plus restreint. Le porteur de la marque 6 l'accompagne souvent ; et ponctuellement, ceux qui portent les marques 69, 30, 12, 24, 26 et 8.

L'atelier de la marque 24, signe lapidaire le plus représenté dans le cloître, associe les porteurs des marques 6, 30, 55 et 69. On y trouve aussi les signes lapidaires 107, 136, 3, 81 et 53.

L'atelier de la marque 55, marque présente dans la galerie de San Blas, réunit les tailleurs porteurs des signes 26, 24, 12, 2, 30, 6 et 136. Cette marque et l'atelier qui lui est associé semblent avoir traversé l'ensemble de la construction du cloître, alors que d'autres marques sont limitées à des parties plus réduites.

4. Chronistique des étapes de la construction du cloître

Un autre objectif de cette étude est de tenter de révéler la chronistique²⁸ des étapes de la construction du cloître entre 1389 et 1418, date de son achèvement. Nous avons utilisé l'opérateur spatial topologique NEAR. Celui-ci détermine la distance entre chaque entité spatiale, dans les entités spatiales en entrée et l'entité spatiale la plus proche dans les entités spatiales de proximité, à l'intérieur d'un rayon de recherche. Les entités spatiales en entrée et les entités spatiales de proximité sont les pierres marquées²⁹.

La distance de chaque pierre marquée est calculée par rapport aux autres pierres marquées, situées à l'intérieur d'un rayon de recherche dont la valeur choisie est de 4 mètres sachant que la travée mesure $7,8 \times 7,8$ mètres.

Un diagramme est établi pour visualiser les relations spatiales entre une entité spatiale en entrée et une entité spatiale la plus proche dans les entités spatiales de proximité. L'axe des x correspond à la valeur de l'identifiant de l'entité spatiale la plus proche (NEAR_FID) et l'axe des y correspond à la valeur de l'identifiant de l'entité spatiale en entrée (FID). Ce diagramme montre et établit des groupes de proximités en intégrant les distances entre les pierres taillées porteuses de signe lapidaire. Les signes lapidaires apparaissent groupés dans des figures rectangulaires dont la taille varie en fonction du nombre de signes « voisins ».

28. Le terme « chronistique », emprunté aux taxinomistes anglo-saxons, désigne une série évolutive hypothétique ; voir J. PASSINI, 1993, p. 28.

29. L'opérateur spatial topologique NEAR a été mis en œuvre sous ArcGis. Deux champs sont ajoutés à la table attributaire des entités spatiales en entrée. Ce sont NEAR_FID qui stocke l'identifiant de l'entité spatiale la plus proche et NEAR_DIST qui stocke la distance entre l'entité spatiale en entrée et l'entité spatiale la plus proche. La valeur de ce champ est exprimée dans l'unité linéaire du système de coordonnées de l'entité spatiale en entrée. NEAR_FID et NEAR_DIST ont la valeur -1 si aucune entité spatiale n'est trouvée dans le rayon de recherche.

Figure 13. Visualisation des résultats de l'opérateur NEAR dans le plan du cloître

Note. Chaque point est défini par «son départ» en abscisse et «son arrivée» en ordonnée. Les points se regroupent en nuages rectangulaires.

Les 3 500 pierres marquées répertoriées apparaissent ainsi distribuées dans un ensemble de «groupes de proximité», de forme rectangulaire réunissant de 59 à 655 signes lapidaires. Ces rectangles, petits ou grands, prennent place dans les travées, comme le montre la Figure 13 : en A, un rectangle de taille moyenne réunit des signes lapidaires présents dans la galerie Ouest ; en B, un petit rectangle dans la galerie Est.

La Figure 14 montre la différence de traitement entre les travées associées à la galerie Est qui conduit à la chapelle de San Blas et les autres galerie. La galerie Est est caractérisée par des travées construites sous la direction d'un maître tailleur de pierre, alors que le reste du cloître révèle une autre façon de travailler avec des groupes à responsabilités partagées sur plusieurs travées. Le plus grand nombre de tailleurs de pierres identifiés dans la galerie Ouest peut être compris comme une certaine rationalisation du travail, possiblement une standardisation des blocs taillés qui permettrait de travailler sur plusieurs travées en même temps, face à une plus grande spécialisation des tailleurs de pierres qui construisaient la galerie Est travée par travée.

Figure 14. *Distribution des signes lapidaires en groupe rectangulaire en fonction du nombre de signe voisin (opérateur NEAR de ArcGis)*

Note. Les résultats de l'analyse des proximités obtenus avec l'opérateur topologique spatial NEAR de ArcGis, représentés ici par cette diagonale, montrent une réalisation différente de la galerie Est, où chaque travée est sous le contrôle d'un maître tailleur de pierre (rectangles de petites tailles), alors que le reste de la construction du cloître se réalise sous une autre forme, les mêmes maîtres tailleurs de pierre intervenant sur plusieurs travées en même temps (rectangles de grandes tailles). Cette galerie est associée à la construction de la chapelle de Pedro Tenorio.

Cette différence observée entre deux façons de travailler et de construire, à laquelle s'ajoutent quelques repères chronologiques connus comme la fin de la construction de la chapelle de San Blas, conduit à considérer la diagonale proposée comme l'expression du déroulement chronologique des travaux de la construction du cloître.

Le traitement des données par la méthode NEAR conduit à formuler l'hypothèse de cinq étapes dans la réalisation du cloître, étapes numérotées de 1 à 5 (Figure 15).

1) L'édification du cloître, probablement débuté en 1389, année de la pose de la première pierre par Pedro Tenorio, aurait commencé par la galerie Nord du cloître, au niveau des travées 12 et 13, et se serait poursuivie par les travées 14, 15 et 16. L'ensemble des galeries Est et Nord appartient à un même groupe lors du traitement des marques par groupes de quinze et trente, ce qui lui confère une forte cohérence.

2) La seconde étape correspondrait à l'édification des travées de la galerie Est, liée à la chapelle de San Blas. Cet ensemble comprend la travée 17, située au nord du cloître et à l'ouest de la chapelle, ainsi que les travées de la

galerie San Blas. Nous formulons l'hypothèse que la réalisation de la chapelle, dont les murs ne livrent actuellement aucun signe lapidaire, sauf à leur base, et celle de la galerie conduisant de la chapelle San Blas à la cathédrale, ont été menées conjointement de 1395 à 1399. Cette hypothèse est confortée par le fait que la conception architecturale de la galerie de San Blas et son décor diffèrent de ceux très classiques des trois autres galeries du cloître. L'architecture audacieuse de la galerie San Blas tend, en effet, à la rapprocher de l'architecture des collatéraux de la cathédrale en particulier de ses voûtes hautes. La dernière travée de la galerie Nord du cloître consolidant la chapelle sur sa face ouest aurait été édifiée avant la première travée de la galerie San Blas. La réalisation de celle-ci aurait été menée de la chapelle vers la future porte de Santa Catalina.

3) La galerie Ouest : une fois terminée la galerie Est de San Blas, vers 1399, la construction du cloître se serait poursuivie par la galerie Ouest, et dans l'état actuel des analyses effectuées, probablement par les travées 7 à 11.

4) La galerie Sud : les travées 1 à 6. Cette galerie se substitue à l'ancien portique de la grande mosquée, qui devait encore exister à l'époque de la construction du cloître, abritant du matériel et assurant la jonction avec la cathédrale.

5) La dernière étape, qui se distingue clairement dans la partie terminale haute de la diagonale du diagramme de NEAR, correspond à la réalisation du parement extérieur des murs internes du cloître. Deux portes terminent la construction du cloître : la porte de Santa Catalina qui relie la chapelle funéraire de San Blas à l'église et devient la porte principale entre le cloître et la cathédrale ; et la porte du Mollete, qui ouvre sur la rue à l'ouest du cloître.

L'hypothèse sous-jacente considère que la construction du cloître a commencé par le côté nord-est du cloître, qui a nécessité une extraction de pierre très importante pour atteindre le niveau du sol actuel du cloître. La pierre extraite sur le côté nord aurait été utilisée en blocage dans la construction des murs de l'édifice.

La présence d'un égout romain qui débouchait dans l'angle nord-ouest du cloître a dû obliger les constructeurs à trouver des solutions : soit détourner le dit égout, soit creuser plus profondément pour faire baisser le niveau de l'eau.

Avant 1389, le plan de l'ensemble du cloître étant réalisé au sol, la construction a pu débuter, au niveau de la partie la plus éloignée de la cathédrale, c'est-à-dire au nord-est ; elle s'en est rapprochée progressivement, incluant au passage le portique de la cour aux ablutions de l'ancienne mosquée. Elle s'achève en s'accolant à la nouvelle cathédrale. Un processus analogue s'était déroulé deux cents ans plus tôt lors de la mise en route de la construction de

Figure 15. Évolution du cloître : les principales étapes de la construction à partir des traitements de l'opérateur NEAR

la cathédrale, qui avait débuté par le chevet sur un parcellaire de boutiques, s'était poursuivi d'est en ouest, incluant au passage l'ancienne mosquée, jusqu'à la faire disparaître.

5. Stratégie des tailleurs de pierre

La géolocalisation et la géo-spatialisation des pierres taillées porteuses de marques conduisent à formuler des hypothèses quant à la participation de chaque tailleur de pierre dans le travail du cloître. Bien que quelques maîtres semblent avoir travaillé sur l'ensemble du chantier tout au long du temps de sa construction, c'est-à-dire durant trente ans, comme c'est le cas pour les maîtres porteurs des marques 24 et 6, d'autres tailleurs de pierre interviennent sur des lieux très restreints. Par exemple, le maître porteur de la marque 55 contrôle une travée, la travée 19, adjacente à celle où travaillent les maîtres porteurs des marques 26 et 57.

Parmi tous les maîtres tailleurs de pierre ayant travaillé à la construction du cloître, un groupe semble être le plus présent. Ce groupe réunit les tailleurs de pierre signant avec les marques suivantes :

24 , 5 , 6 , 30 , 55 , 12 , 26 , 2 et 69 .

Ceux qui portaient les marques 55, 12 et 5 paraissent avoir dirigé un groupe en dix occasions, les marques 26 et 69 un groupe en huit occasions, et la marque 2 un groupe en sept occasions. Ces tailleurs de pierre travaillent sur plus de dix travées. En second lieu, les maîtres qui paraissent avoir travaillé moins de dix fois sont les maîtres auxquels correspondent les marques 30, 69, 26, 2 et 8. En troisième lieu, quelques tailleurs de pierre, ou chefs d'équipe, sont intervenus une, deux, voire trois fois.

Dans l'angle nord-ouest du cloître, sur les travées 11 et 12, qui sont les plus compliquées du point de vue des structures, auraient travaillé les maîtres les plus expérimentés. Ils devaient résoudre des problèmes importants de structure liés à la présence d'une très forte humidité du sous-sol.

Dans la galerie de San Blas, sur les travées correspondantes à celle de la chapelle de San Pedro (paroisse de San Pedro, chapelle funéraire de l'archevêque Sancho de Rojas), on note un groupe de maîtres qui n'apparaît pas dans le reste du cloître. Nous pensons qu'il s'agit d'une intervention ponctuelle spécifique dans les travées 21, 22 et 23, travées dans lesquelles nous identifions les maîtres ayant les marques 80, 25 et 33 – marques peu présentes dans le reste du chantier – mais qui seraient intervenus pour préparer la construction de la nouvelle chapelle et sa jonction avec la structure du cloître. Quant à l'intervention d'autres maîtres, tel par exemple le tailleur de pierre ayant la marque 30, elle est limitée à une zone très réduite dans les travées 4 et 9, ainsi que sur la porte de Santa Catalina. Le maître porteur de la marque 8 ne semble être intervenu que dans les travées 9 et 14, et en aucun cas n'a travaillé dans les travées 12 et 13.

Les tailleurs de pierre étaient organisés en groupes de quatre à cinq, ou ateliers, dirigés par un maître tailleur dont la participation à la construction du cloître est importante. Le maître porteur du signe lapidaire 6 semble avoir été le plus intervenant dans la construction.

Quant aux types de marques, on note une différence entre celles qui apparaissent sur les pierres taillées grossièrement des voûtains de chaque travée et les autres blocs de pierres taillées. Une exception, celle de la marque 26 : le maître tailleur de pierre dirigeait, probablement, les tailleurs de pierres qui travaillaient sur les pierres des voûtains. Les signes lapidaires observés sur ces petites voûtes se caractérisent par une géométrie plus simple, moins élaborée.

6. Conclusion

Le relevé d'un ensemble de 3 500 signes lapidaires relevés sur les pierres, distribuées de façon aléatoire dans l'ensemble du cloître de la cathédrale de Tolède, avait pour principal objectif de comprendre les modalités de sa construction. Deux méthodes d'analyse spatiale de proximité – l'une multivariée, l'autre exploratoire – appliquées à cet ensemble de 3 500 signes lapidaires du cloître offrent la possibilité de proposer des représentations graphiques et cartographiques des relations spatiales existant dans la distribution des pierres taillées porteuses de marques dans l'espace édifié. À la lecture de ces résultats, se dessinent des éléments d'interprétation relatifs d'une part à l'espace affecté par la construction du cloître et, d'autre part, à la relation entre les maîtres tailleurs de pierres qui ont travaillé sur l'édifice.

L'étude présentée dans cet article conduit à formuler des hypothèses concernant à la fois la dynamique constructive de l'édifice et l'organisation des ateliers de tailleurs de pierre qui ont participé à son exécution, étalée sur une trentaine d'années. Elle montre, surtout, que les méthodes d'analyse spatiale de proximité permettent d'enrichir les méthodes jusqu'ici utilisées dans la glyptographie et d'aller au-delà des résultats de catalogage. Ces méthodes ouvrent une voie supplémentaire à la compréhension de la construction médiévale. Elles pourraient être affinées et surtout devront être appliquées à d'autres édifices dans l'Espagne et l'Europe médiévales, assurant un moyen de comparaison.

Bibliographie

- ALMAGRO-GORBEA, Martín, BARRANCO RIBOT, José María & GORBEA, Markel, *Excavaciones en el Claustro de la Catedral de Toledo*, Madrid, Real Academia de la Historia, 2011.
- ESQUIEU, Yves & HARTMANN-VIRNICH, Andreas (dir.), « Les signes lapidaires dans la construction médiévale : études de cas et problèmes de méthode », *Bulletin monumental*, t. 165, n° 4, année 2007, p. 331-358. DOI: 10.3406/bulmo.2007.1489. URL : http://www.persee.fr/web/revues/home/prescript/article/bulmo_0007-473X_2007_num_165_4_1489.
- IZQUIERDO BENITO, Ricardo, *El patrimonio urbano del cabildo de la catedral de Toledo en la segunda mitad del siglo XIV*, Tolède, Anales toledanos & Instituto provincial de investigaciones y estudios toledanos, 1980.
- , « Noticias sobre canteros de la catedral de Toledo en el siglo XV », Actes du colloque international de glyptographie de Saragosse, du 7 au 11 juillet 1982, Braine-le-Château, Centre de recherches glyptographiques, 1983, p. 557-563.
- LAMBERT, Élie, *El Arte Gótico en España en los siglos XII y XIII*, Madrid, 1985 [1977].
- MARTÍN GAMERO, Antonio, *Ordenanzas para el Buen Régimen y Gobierno de la muy noble, muy leal e imperial ciudad de Toledo*, Tolède, Fundación Tavera, 1858.
- MENÉNDEZ FUEYO, José Luis, « Firmar la tinaja, marcar la historia. Marcas y grafitis en las cerámicas de Santa María de Alicante », *Marq, arqueología y museos*, 2, 2007, p. 107-130.
- MOLÉNAT, Jean-Pierre, « Places et marchés de Tolède au Moyen Âge, XII^e-XVI^e siècles », *Plazas et sociabilité en Europe et Amérique latine*, Colloque des 8 et 9 mai 1979, Paris et Madrid, Casa de Velázquez et de Boccard, 1982, p. 43-52.
- NAVASCUÉS PALACIO, Pedro, MERINO DE CÁCERES, J. Miguel & BERRIOCHOA SÁNCHEZ-MORENO, Valentín, *La Catedral de Toledo Obra y Fábrica*, Barcelone, Lunwerg Editores, 2011.
- PASSINI, Jean, « Plan parcellaire et urbanistique islamiques au Moyen Âge », *Le Moyen Âge, revue d'histoire et de philologie*, n° 1, t. XCIX (5^e série, t. 7), 1993, p. 27-39.
- PIROT, Françoise & SAINT-GÉRAND, Thierry, « La géodatabase sous ArcGis, des fondements conceptuels à l'implémentation logicielle », *Revue de géomatique expert*, n° 41-42, février-mars 2005, p. 62-66.
- PUENTE LÓPEZ, Juan Luis & SUÁREZ DE PAZ, José María, « Marcas de Cantero en la Torre y Panteón de los Abades del Monasterio de San Miguel de Escalada », *Tierras de León. Revista de la Diputación Provincial*, vol. 23, n° 51, 1983, p. 71-86.
- ROMERO MEDINA, Raúl, *Diccionario bibliográfico de signos lapidarios de España*, Braine-le-Château, Centre international de recherches glyptographiques, 2012.
- SÁNCHEZ-PALENCIA MANCEBO, Almudena, *Fundaciones del arzobispo Tenorio : La Capilla de San Blas en la Catedral de Toledo*, Tolède, Instituto provincial de investigaciones y estudios toledanos, coll. Monografías (13), 1985.
- , *Vida y empresas del arzobispo Don Pedro Tenorio*, Tolède, Instituto provincial de investigaciones y estudios toledanos, coll. Temas toledanos (54), 1988.
- VARET-VITU, Anne & PIROT, Françoise, « Les administrateurs de la santé dans l'espace parisien au XIX^e siècle », *Histoire & Mesure*, vol. XIX, n° 3-4, 2004, p. 377-397.
- YUSTE GALÁN, Amalia María, « Puertas y Torres », *La Catedral primada de Toledo. Dieciocho siglos de Historia*, Burgos, Promecal publicaciones, 2010, p. 162-79.

YUSTE GALÁN, Amalia María & PASSINI, Jean, « El inicio de la construcción del claustro gótico de la catedral de Toledo », *Actas del Séptimo congreso nacional de historia de la construcción*, t. II, Madrid, Instituto Juan de Herrera, 2011, p. 1477-1488.

—, « La Capilla funeraria del arzobispo don Sancho de Rojas en la Catedral de Toledo : Proyectos y Ejecución », *Actas del Octavo congreso nacional de historia de la construcción*, t. II, Madrid, Instituto Juan de Herrera, 2013, p. 1047-1056.

Annexes

Annexe 1. Création de la matrice Bertin

Une matrice Bertin a été créée pour visualiser graphiquement les proximités des marques ou signes lapidaire, aussi bien au niveau global (c'est-à-dire l'espace du cloître) qu'au niveau local (c'est-à-dire l'espace de chaque travée). Chaque colonne représente une travée, chaque ligne représente une marque ou signe lapidaire. Dans chaque maille est indiquée l'absence ou la présence de la marque ou signe lapidaire par une couleur, ainsi que sa fréquence d'apparition à l'intérieur de la travée considérée. Seules ont été retenues les fréquences supérieures ou égales à 10.

Annexe 2. Création de la géodatabase

Le logiciel mis en œuvre pour la création de la géodatabase, des données géospatiales et thématiques ainsi que pour les géotraitements est le logiciel ArcGis 10.3 desktop, de la plateforme ESRI.

Pour la création des données géospatiales et thématiques, voir Figure 4, étapes 1 et 2.

Données géospatiales ou création des pierres taillées dans l'espace du cloître :

- objet géographique d'étude : pierre taillée porteuse ou non de marque ou signe lapidaire ;
- le nombre total de pierres relevées sur le terrain est de 18 980 ;
- le nombre de pierres porteuses de signe lapidaire est de 3 500 ;
- le référentiel spatial est ED 1950 UTM Zone 30N ;
- chaque pierre porteuse ou non de signe lapidaire a été créée numériquement avec une structure de polygone dans un format de *shapefile*.