

# Détection automatique de motifs céramiques archéologiques par analyse d'images 2D

DEBROUTELLE TEDDY<sup>1</sup>, CHETOUANI ALADINE<sup>1</sup>, TREUILLET SYLVIE<sup>1</sup>

JESSET SEBASTIEN<sup>2</sup>

EXBRAYAT MATTHIEU<sup>3</sup>, MARTIN LIONEL<sup>3</sup>

<sup>1</sup> Laboratoire PRISME, Université d'Orléans  
12 rue de Blois, F-45067 Orléans cedex 2, France

<sup>2</sup> Service Archéologique Municipal d'Orléans  
13 bis rue de la Tour Neuve, 4500 Orléans, France

<sup>3</sup> Laboratoire LIFO, Université d'Orléans  
Bâtiment IIIA, rue Léonard de Vinci, B.P. 6759, F-45067 Orléans cedex 2, France

<sup>1</sup> [teddy.debrouelle@univ-orleans.fr](mailto:teddy.debrouelle@univ-orleans.fr), [aladine.chetouani@univ-orleans.fr](mailto:aladine.chetouani@univ-orleans.fr), [sylvie.treuillet@univ-orleans.fr](mailto:sylvie.treuillet@univ-orleans.fr),

<sup>2</sup> [sjesset@ville-orleans.fr](mailto:sjesset@ville-orleans.fr)

<sup>3</sup> [matthieu.exbrayat@univ-orleans.fr](mailto:matthieu.exbrayat@univ-orleans.fr), [lionel.martin@univ-orleans.fr](mailto:lionel.martin@univ-orleans.fr)

**Résumé** - Le projet ARCADIA vise à développer des méthodes automatiques d'analyse d'images et d'apprentissage pour faciliter l'interprétation et la mise en valeur d'un patrimoine céramique archéologique. Il s'agit de mettre en place une chaîne de numérisation 3D des tessons découverts afin de détecter le décor gravé à la molette par les potiers du Haut Moyen Âge. Dans cet article, nous expliquons les premiers résultats obtenus avec notre chaîne de traitement pour la détection de motif. Les images binaires extraites à partir des scans 3D des tessons sont comparées à celles obtenues par encrages manuels effectués par l'archéologue.

**Abstract** - The ARCADIA project aims at developing automatic image analysis and machine learning methods to facilitate the interpretation and valorization of an archaeological ceramic heritage. It consists in implementing a 3D digitalization chain of the discovered tessels to extract the decoration imprinted by the potters using a carved wood wheel. In this article, we explain the first results obtained with our processing chain for pattern detection. Binary images detected from 3D scans of tessels are compared to those obtained by manual inking performed by the archaeologist.

## 1 Introduction

Depuis 1994, plusieurs campagnes de fouilles archéologiques programmées ont permis de mettre à jour de nombreux fours et d'extraire un matériel céramique très important montrant une production de masse sur la commune de Saran (Loiret) au cours du haut Moyen Âge (VIe-XIe siècles). La plupart des tessons céramiques font apparaître un décor en relief réalisé à la molette, un procédé plutôt répandu durant l'antiquité tardive [1]. La molette du potier est un cylindre (ici en bois), entaillé de motifs géométriques et destiné à la décoration répétée de séries de céramiques (Figure 1).

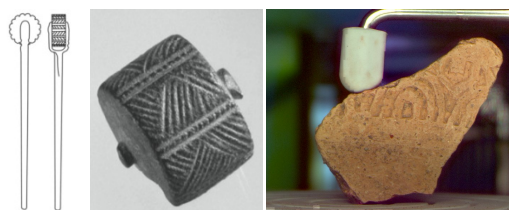


Figure 1 : Molette et Tesson

L'enlèvement de matière réalisé par le passage du cylindre sur la terre crue dégage un motif en creux sur le vase propre à chaque potier. L'analyse des décors

permet à l'archéologue de préciser la chronologie des répertoires céramiques et d'établir la carte de diffusion des productions. Une roulette se dégradant très rapidement, sa durée d'utilisation est relativement courte et permet ainsi une datation des productions. Une même matrice retrouvée sur plusieurs vases de formes différentes permet d'associer ces vases à un même atelier voir à un même artisan. Lors d'une première étude portant sur 935 tessons, l'archéologue s'est appuyé sur un relevé d'empreinte manuel et une appréciation visuelle pour distinguer environ 104 roulettes ou matrices différentes [2]. La technique adoptée se décompose en trois étapes : moulage avec une pâte à modeler, encrage pour obtenir le négatif du décor restitué ensuite sur une feuille, puis scan et vectorisation du motif qui fait l'objet d'un enregistrement informatique dans une base de données (mesures, type et nombres de motifs portés par le décor).

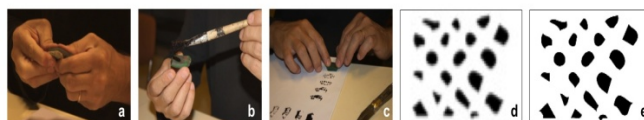


Figure 2 : Etapes du procédé d'encrage manuel

Le rapprochement d'un décor à une matrice de référence a été réalisé subjectivement après une première discrimination informatique (recherche sur les mesures et la distribution du décor). Si cette méthode d'analyse manuelle a fait ses preuves, elle atteint ses limites face à l'augmentation du corpus dégagé lors des dernières fouilles entre 2009 et 2012 qui atteint près de 38000 tessons. Le nombre important de tessons décorés exige la mise au point d'une méthode d'analyse rapide et exhaustive, passant par des techniques d'acquisition automatique et l'élaboration de descripteurs numériques du décor pour proposer une classification rigoureuse et systématique.

Dans le cadre du projet ARCADIA (Automatic Recognition of Ceramics Achieved by Digital Image Analysis) financé par la région Centre, nous proposons de développer des méthodes automatiques d'analyse d'images et d'apprentissage faiblement supervisées pour faciliter l'interprétation archéologique de ce patrimoine céramique. Cet article présente les premiers résultats de détection automatique des décors gravés à la molette sur les tessons trouvés à Saran. Nous confrontons les motifs extraits automatiquement à partir des scans 3D des tessons à ceux obtenus par l'archéologue par encrages manuels.

La section suivante fait un état de l'art des travaux relatifs. Le jeu de données utilisé est présenté en section 3. La section 4 décrit les étapes de la méthode proposée pour la numérisation 3D des tessons et la mise en valeur de leur décor.

## 2 Travaux relatifs

Plusieurs travaux publiés visent à automatiser le classement des céramiques, soit par leur forme ou morphologie [3,4], soit par leur composition [5-10] ou encore par la présence de décors [11]. L'analyse de forme s'appuie en général sur un modèle idéal de surface de révolution pour extraire un axe et un profil, utilisés ensuite pour apparier les tessons, allant parfois jusqu'à proposer un assemblage automatique [3]. Cependant la détermination d'un couple axe/profil reste très délicate sur les tessons de faible dimension, présentant peu de courbure ou des asymétries, phénomène courant dans les productions artisanales. La caractérisation des matériaux sur les surfaces intérieure, extérieure ou tranche des céramiques a également fait l'objet d'études par la couleur [5], la texture [6] ou en associant une information infrarouge et hyperspectrale [7]. Ces travaux se bornent à montrer le potentiel de l'imagerie pour la caractérisation minéralogique sans résultats tangibles sur le plan typologique. Le classement automatique est abordé par la texture [8] ou l'association couleur-texture [9-10]. Cependant ces études restent critiques sur l'échantillonnage mis en jeu et peu concluantes sur la faisabilité, car elles mélangent parfois les engobes décoratifs et les caractéristiques de la pâte elle-même. Il n'existe à première vue que très peu d'études se focalisant sur la détection des décors par numérisation 3D. Notre recherche bibliographique a

pointé une étude pour la reconnaissance de motifs complexes à partir d'une bibliothèque de forme simples en appliquant des déformations [11]. Le caractère protéiforme des décors sur les céramiques, fait que, même si l'analyse d'images de ces motifs avait été plus largement traitée, les méthodes qui en découleraient ne seraient pas forcément les plus adaptées aux céramiques de Saran.

## 3 Jeux de données

Le corpus ciblé par la campagne de numérisation est constitué par les décors issus des fouilles qui ont eu lieu dans les années 1970 sur le site de la Médecinerie et traités préalablement par l'archéologue Sébastien Jesset [2]. Au total, 957 décors ont été numérisés. Les types les plus fréquents sont illustrés en Figure 3. Les molettes de Saran sont à décors géométriques, constitués d'une répétition de formes simples sur 1,5 cm à 3 cm de hauteur. Généralement, une seule forme est répétée. Il existe également des décors composés de plusieurs formes, même si ces derniers sont plus faiblement représentés.

Tab 1 : Corpus de l'étude

| Type              | A  | B  | C  | G  | H   |
|-------------------|----|----|----|----|-----|
| Nb d'échantillons | 64 | 24 | 38 | 79 | 144 |

Pour cette étude de faisabilité, 377 décors ont été soumis aux tests, avec la répartition donnée dans le Tab 1. Pour l'ensemble du corpus, on dispose donc de deux jeux de données : les images binaires issues des encrages manuels effectués par l'archéologue (selon les étapes illustrées dans la Figure 2), et les numérisations 3D des tessons correspondants. L'objectif du projet est de proposer une chaîne de traitements des scans 3D des tessons pour extraire et caractériser les décors, puis de confronter les classifications obtenues à partir de ces images 3D à celles issues des données de référence (encrages binaires de l'archéologue). Il est à noter que dans le cadre de ce travail préliminaire la classification n'est pas abordée.

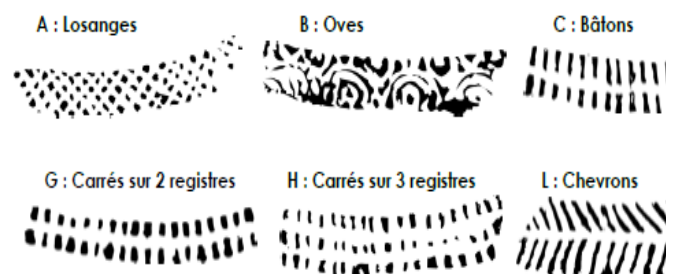


Figure 3 : Types de motifs étudiés

## 4 Détection des motifs

Nous présentons une première méthode de détection de motif basée sur l'estimation de la variance locale de la carte des profondeurs issue des scans 3D (voir schéma synoptique Figure 5). L'utilisation de la

variance locale pour détecter les contours est aussi utilisée dans le domaine du médical pour segmenter les vaisseaux sanguins [12]. La difficulté de ce travail vient du fait que le tesson est resté plusieurs siècles sous terre. Du fait de l'érosion, la surface du tesson est loin d'être homogène et les contours de motif sont dégradés avec des profondeurs variant de 1 à 3 mm selon les tessons.

#### 4.1 Méthode proposée

Après numérisation du tesson et la suppression des points 3D isolés (outliers), une projection des points 3D est appliquée par une Analyse en Composante Principale (ACP). Cette projection permet de diminuer les éventuels biais sur la profondeur dus au placement du tesson lors de sa numérisation (plan du tesson non parallèle au plan du scanner). La carte des profondeurs est ensuite calculée et normalisée (Figure 4a). Afin de faire ressortir les éléments du motif, la carte des variances locales est estimée (eq. 1). Cette carte permet de supprimer ou d'atténuer fortement l'influence de la courbure du tesson. En effet, cette courbure induit des valeurs de profondeur biaisées qui produisent un fond inhomogène de niveaux de gris dans la carte des profondeurs (clairement visible sur la Figure 4a). Pour calculer la variance, la taille de voisinage est de  $3 \times 3$ .

$$V(x, y) = \frac{\sum(I(x,y) - \mu)^2}{n} \quad (1)$$

Avec  $V(x, y)$  la valeur de la variance du pixel  $(x, y)$ ,  $I(x, y)$  la valeur du niveau de gris du pixel  $(x, y)$ ,  $n$  le nombre de pixels dans la fenêtre,  $\mu$  la valeur de niveau de gris moyen de la fenêtre.

Les valeurs de variance calculées entre le fond de l'image et l'extrémité du tesson sont supprimées. Ces fortes valeurs mettent en évidence le contour du tesson et non les contours du motif. Pour détecter le contour du tesson, le plus grand contour dans l'image de profondeur est extraits. Ce contour est ensuite dilaté pour s'assurer que l'ensemble des valeurs de variance du contour du tesson soit mis à zéro. L'image du contour (Figure 4b) est soustraite à l'image de la carte des variances (Figure 4a) et est normalisée. Comme le montre la Figure 4c, les variances du motif sont plus importantes que celles des aspérités causées par la rugosité due à la matière de fabrication des tessons et à l'érosion. Afin de mettre en évidence le motif, une binarisation est appliquée (Figure 4d). Le seuil de la binarisation est calculé à partir du niveau moyen de la variance. On considère que la variance du contour du motif à une valeur minimale de deux fois la valeur moyenne de la carte des variances.

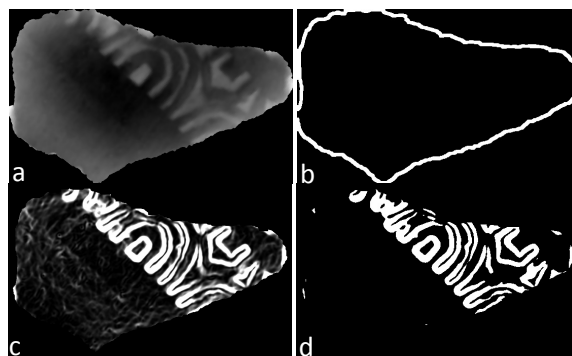


Figure 4 : Résultats des traitements appliqués au tesson 67  
a : carte de profondeur normalisée, b : contour du tesson, c : carte de variance normalisée, d : binarisation de la carte de variance

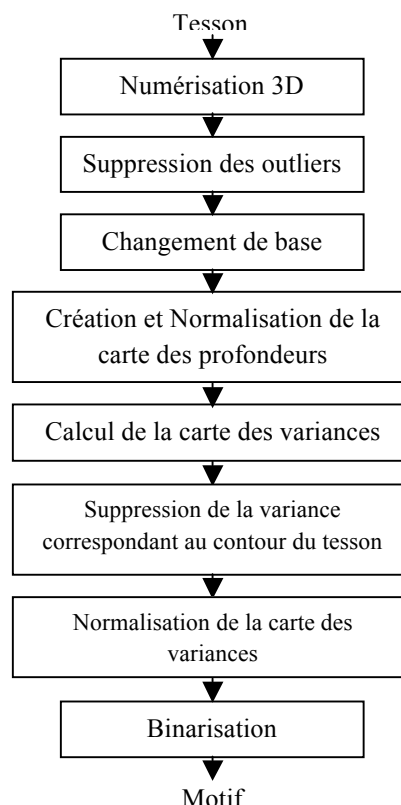


Figure 5 : Chaîne de traitements

#### 4.2 Résultats

Nous présentons les résultats sur plusieurs tessons. Ces résultats sont également valables sur l'ensemble du corpus de l'étude. La Figure 6 montre pour chaque tesson, sa représentation 3D issue de la numérisation, sa carte de variance binarisée (méthode proposée) et squelettisée ainsi que les contours de l'encrage manuel de l'archéologue. La méthode d'encrage manuel est une approximation du motif du tesson. On remarque sur le cas du tesson 67 que certaines formes sont modifiées, contrairement aux méthodes numériques qui respectent mieux la forme des contours. Il est à noter que le résultat obtenu avec la méthode proposée est similaire aux résultats obtenus avec le détecteur de Canny et le détecteur de contour par les opérateurs de Sobel utilisés sur l'image de profondeur normalisée. Ces premiers résultats nous encouragent à poursuivre dans cette direction pour obtenir une caractérisation correcte du motif.

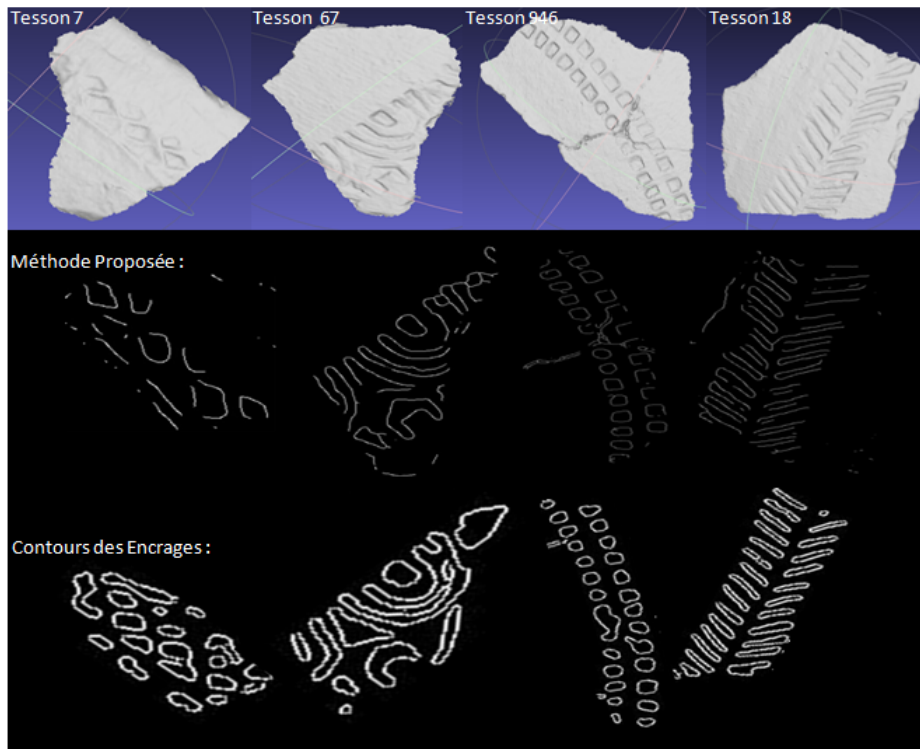


Figure 6 : Résultats 1<sup>ère</sup> ligne : Tessons 3D, 2<sup>ème</sup> ligne : Méthode Proposée, 3<sup>ème</sup> ligne : Contours des Encrages manuel de l'Archéologue

## 5 Conclusion et perspectives

Dans cette étude, une première approche de détection de motif des tessons basée sur l'estimation des variances locales a été présentée. Les résultats obtenus ont été comparés aux versions obtenues par encrage manuel.

Comme perspectives, il s'agira dans un premier temps d'améliorer la détection des motifs. Une seconde approche n'utilisant pas de binarisation sera étudiée. On utilisera la carte des variances pour détecter la zone d'intérêt de l'image correspondant au motif pour effectuer les traitements uniquement dans cette zone de l'image. Cette zone d'intérêt permettra de sélectionner une partie du nuage de points 3D pour comparer l'approche des traitements 2D et 3D. Une caractérisation du motif sera par la suite à étudier afin de réaliser une classification automatique des motifs.

## 6 Bibliographie

[1] Pastor, Line, Molettes et roulettes de potiers gallo-romains dans l'est de la Gaule, *Revue archéologique de l'Est*, N° 55, pp. 287-297, 2008

[2] S. Jesset, La diffusion dans l'orléanais des productions de l'atelier d'Orléans-Saran du VI<sup>e</sup> au IX<sup>e</sup> siècle, *Mémoire de DEA*, Université de Tours, 1995.

[3] A. Willis, D. Cooper, X. Orriols, Accuately Estimating Sherd 3D Surface Geometry with Application to Pot Reconstruction, *CVPRW 2003*, pp. 7, 2003.

[4] S. Y. Zheng, R. Y. Huang, J. LI, Z. Wang, Reassembling 3D Thin Fragments of Unknown Geometry in Cultural Heritage, *ISPRS 2014*, Vol. II-5, pp. 393-399, 2014.

[5] M. Kampel, R. Sablatnig, Color Classification of Archaeological Fragments, *ICPR 2000*, pp. 771-774, 2000.

[6] F. Stanco, A. M. Guelo, D. Tanasi, G. Stella, Computer Graphics solutions for Pottery Colors Specification, *CGIV 2013*, pp. 97-101, 2013.

[7] M. Farjas, Rejas, G. Juan, T. Mostaza, J. Zancajo, Deepening in the 3D Modelling: Multisource Analysis of a Polychrome Ceramic Vessel Through the Integration of Thermal and Hyperspectral Information, *Conf. on Computer Applications and Quantitative Methods in Archaeology (CAA)*, pp. 116-124, 2012.

[8] M. Abadi, M. Khoudeir, S. Marchand, Gabor Filter-Based Texture Features to Archaeological Ceramic Materials Characterization, *Image and Signal Processing*, LNCS4370, pp. 333-342, 2012.

[9] P. Smith, D. Bespalov, A. Shokoufandeh, P. Jeppson, Classification of Archaeological Ceramic Fragments Using Texture and Color Descriptors, *CVPRW 2010*, pp. 49-54, 2010.

[10] M. Makridis, P. Daras, Automatic classification of archaeological pottery sherds, *Journal on Computing and Cultural Heritage*, Vol. 5, n° 4, pp. 1-21, 2012.

[11] G. C. Guarnera, F. Stanco, D. Tanasi, G. Gallo, Classification of Decorative Patterns in Kamares Pottery, *Spring Conference on Computer Graphics, Bratislava*, pp. 20-23, 2011.

[12] Max W. K. Law, Albert C. S. Chung, Weighted Local Variance-Based Edge Detection and Its Application to Vascular Segmentation in Magnetic Resonance Angiography, *IEEE Transactions on Medical Imaging*, vol. 26, No 9, 2007