

# Segmentation semi-automatique d'images pour le diagnostic de monuments historiques

Koubouratou O. IDJATON<sup>1</sup>, Xavier DESQUESNES<sup>1</sup>, Sylvie TREUILLET<sup>1</sup>, Xavier BRUNETAUD<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Université d'Orléans, INSA CVL, PRISME EA 4229, F45072, Orléans, France

<sup>2</sup>Université d'Orléans, INSA CVL, LaMé, Orléans, France

koubouratou.idjaton@univ-orleans.fr, xavier.desquesnes@univ-orleans.fr  
sylvie.treuillet@univ-orleans.fr, xavier.brunetaud@univ-orleans.fr

**Résumé** – Établir un carnet de santé pour la surveillance et la restauration des bâtiments appartenant au patrimoine culturel représente une tâche de plus en plus complexe. Le développement des technologies numériques toujours plus performantes laisse espérer les experts du patrimoine culturel qu'ils pourront bientôt profiter d'outils d'analyse de données semi-automatique pour simplifier cette tâche. Cet article présente une méthode semi-automatique pour la segmentation pierre à pierre basée sur l'analyse d'images 2D issues de l'orthophotographie du Château de Chambord. L'objectif est d'automatiser l'étiquetage manuel des pierres dans le processus de restauration des bâtiments historiques. Cette méthode donne des résultats encourageants sur une base d'échantillons d'images prises sur les murs du Château de Chambord.

**Mots clés:** Segmentation, analyse d'images couleur, détection de contours, intelligence du patrimoine, surveillance.

**Abstract** – Establish a health record for monitoring and restoration of Cultural Heritage buildings is an increasingly complex task. The development of efficient digital technologies makes the cultural heritage experts to hope be provided soon with semi-automatic tools for data analysis. This article presents a semi-automatic method for stone segmentation based on the analysis of 2D images from the orthophoto of Château de Chambord. The goal is to automate the manual labeling of stones in the restoration process of historical buildings. This method gives encouraging results on image samples from Château de Chambord walls.

**Keywords:** Segmentation, color image processing, edge detection, cultural heritage, monitoring.

## 1 Introduction

Fleurons de l'architecture du moyen-âge et de la renaissance, les monuments anciens comme les châteaux représentent une part importante du patrimoine culturel Européen. Soumis aux effets du temps et des événements, ces ouvrages s'altèrent et nécessitent une maintenance régulière pour leur préservation. Cette maintenance s'appuie sur un carnet de santé du bâtiment qui répertorie les altérations et leur évolution au cours du temps. Précis, ce carnet détaille chaque élément du bâtiment et dresse l'historique des altérations passées et présentes, ainsi que les interventions (réparation, remplacement, etc.) déjà réalisées. L'étiquetage des différents éléments (pierres, poutres, tuiles, etc.) est une tâche minutieuse qui est jusqu'à présent réalisée à la main.

Quand on considère qu'un château peut représenter jusqu'à 32000 mètres de murs, on comprend à quel point réaliser un diagnostic qui repose sur un étiquetage manuel constitue un travail lourd, fastidieux et surtout très coûteux. Pourtant, ce travail est crucial pour une maintenance efficace des bâtiments historiques car il permet de détecter très tôt de potentielles zones d'altérations. De plus, les données collectées représentent une mine d'informations, dont il sera certainement possible d'extraire de nouveaux modèles sur le vieillissement des monu-

ments (comme l'apparition et le développement des altérations).

Aujourd'hui, si l'étiquetage des éléments d'un monument est toujours manuel, celui-ci est déjà partiellement réalisé à partir de supports numériques, tel que des photographies en très haute résolution des bâtiments ou des nuages de points 3D. Ces supports numériques permettent de conserver une trace précise de l'état du bâtiment à chaque acquisition et ouvrent la voie à une automatisation nécessaire de l'étiquetage.

Suivant cette voie, nous proposons dans cet article une nouvelle approche pour l'étiquetage automatique de pierres. La méthode présentée exploite les images 2D couleur issues des orthophotographies, générées à partir des scan 3D du bâtiment par photogrammétrie. Une orthophotographie est une image de la surface du bâtiment rectifiée géométriquement et égalisée par radiométrie. En d'autres termes, une orthophotographie semble être prise à la verticale de tous les points qu'elle figure, ces points étant situés sur un plan. C'est un support cartographique de référence pour les experts du patrimoine car cette remise à plat supprime les effets de la perspective, distorsions optiques et autres déformations dues au relief et permet l'accès à des mesures précises à l'échelle. Sur un château de grandes dimensions comme Chambord, on obtient ces orthophotographies par le traitement d'une série d'images se rapportant à une même primitive géométrique (un plan pour un mur ou un cylindre

pour une tour). L'orthophotographie de l'aile Sud du Château de Chambord (environ 60 mètres de long), par exemple, est une image couleur de 12269 x 2857 pixels, créée à partir d'une centaine d'images acquises avec un APN de résolution 20 Mpixels, puis stockée au format TIFF.

L'objectif est donc de proposer une segmentation pierre-à-pierre de ces images de haute résolution en vue de permettre par la suite une analyse rapprochée et un diagnostic plus détaillé. La suite de l'article est organisée selon le plan suivant : La deuxième partie est consacrée à une revue des travaux antérieurs ; la troisième partie explique la méthode proposée et la dernière partie présente les résultats expérimentaux préliminaires sur une base d'échantillons d'images prises sur les murs du Château de Chambord.

## 2 État de l'art

L'utilisation des technologies numériques appliquées à l'analyse des constructions suscite actuellement un intérêt croissant. Tout particulièrement, lorsqu'il s'agit de l'établissement du carnet de santé des bâtiments historiques. Nous pouvons ainsi citer les récents travaux appliqués à la reconnaissance des régions détériorées basées sur la 3D [1] ; l'analyse des dommages dus à la corrosion [2] ; la détection de la texture pour la classification des monuments historiques [3].

Cependant, notre étude de l'existant a révélé que les travaux relatifs à l'étiquetage des pierres par segmentation sont presque inexistant dans la littérature. Dans [4], Valero et al. proposent une approche basée sur les ondelettes continues à partir d'une carte de profondeur. Cette approche est appliquée sur les murs de la Cour du palais de Linlithgow. Ces murs, composés de pierres irrégulières et arrondies présentent un fort relief entre pierres et joints. Ces derniers, en creux, sont larges et profonds. La figure 1 représente une coupe rapprochée d'une section du Mur ouest de la Cour du palais de Linlithgow.



FIGURE 1 – Coupe rapprochée d'une section du Mur ouest de la Cour du palais de Linlithgow [4].

Contrairement au palais de Linlithgow, les murs du Château de Chambord sont en pierres de tailles irrégulières et lisses. Le style architectural des châteaux de la Loire se caractérise notamment par une recherche d'uniformité entre pierres et joints. Ces dernières ne présentent ainsi qu'un très léger relief parfois imperceptible et une teinte proche de celle des pierres. De plus les opérations de restauration déjà effectuées pour remplacer les parties altérées de certaines pierres ont été réalisées avec l'objectif de masquer au maximum les raccords de pierres, ajoutant ainsi de nouveaux joints plus fins et de même teinte que les pierres par endroit (figure 2a). La méthode par ondelettes continues proposée par Valero [4] est dans ce cas précis inadaptée. Les joints n'ayant presque pas de relief, nous avons adapté la méthode de Valero pour la tester sur les images couleur, mais comme le montre la figure 2a, les joints sont confondus aux pierres dès que le contraste est faible. En utilisant le

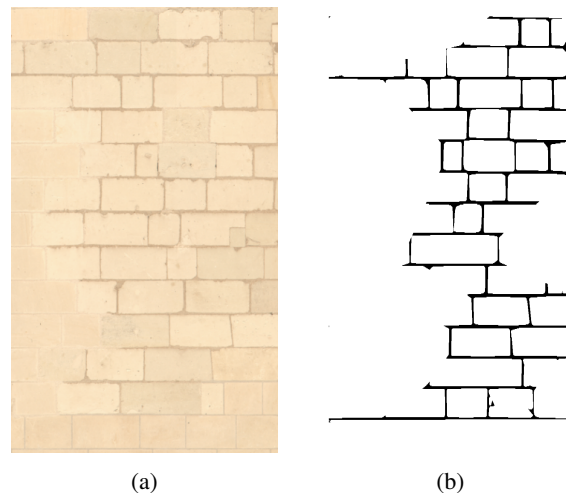


FIGURE 2 – (a) : Exemple de section du mur sud du Château de Chambord montrant les joints qui se confondent aux pierres. (b) : Segmentation obtenue par la méthode des ondelettes continues.

contraste de couleur au lieu du contraste de profondeur, le test de la méthode basée sur les ondelettes continues détecte assez bien les joints sur des images présentant un bon contraste entre pierres et joints avec une bonne homogénéité de teinte. Mais dans de nombreuses images, les teintes ne sont pas homogènes et, dans ce cas, la méthode produit de nombreux artefacts, même après un filtrage préalable par Wiener avec la taille de voisinage 3x3 ou 5x5, et on remarque alors des sous-segmentation. Cette méthode reste trop sensible à l'inhomogénéité de teinte et dépendante du relief entre pierres et joints. Nous proposons une méthode de segmentation basée sur les contours qui exploite les connaissances a priori dont on dispose sur le Château de Chambord, à savoir la largeur et la hauteur d'assise des pierres relativement standard, +/- 40 cm et +/- 20 cm, respectivement.

### 3 Méthode proposée

Notre approche (figure 3) consiste en une série de pré traitements de l'échantillon d'image suivie d'une première détection des contours des pierres puis d'une seconde détection qui vient affiner la première; ensuite nous procédons à une application de traitement morphologique visant la fermeture des contours, le remplissage de la surface des pierres; puis nous procédons à la suppression des très petites régions; et enfin nous réappliquons un traitement morphologique pour réduire l'épaisseur des joints détectés.

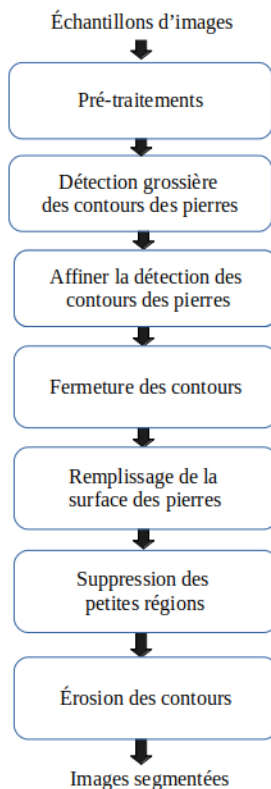


FIGURE 3 – Processus de traitement de la méthode proposée.

L'étape de pré traitement consiste à effectuer plusieurs filtres : médian 5x5 puis Wiener 3x3 [5] pour réduire considérablement les bruits sur la surface des pierres, puis une étape visant à renforcer les contours, et enfin le contraste de l'image par égalisation d'histogramme adaptatif [6].

Après les pré traitements, la détection des contours est effectuée par la méthode de Canny [7]. Afin de paramétrer automatiquement le seuillage par hystérésis, on applique au préalable le détecteur de Sobel [8] pour récupérer le seuil de binarisation. Cette valeur sert à paramétrer les seuils du détecteur de Canny : le seuil haut est égal au seuil de binarisation et le seuil bas est fixé à 0.4 fois le seuil de binarisation. Cette combinaison produit un résultat plus précis que les seuils laissés par défaut, comme le montre la figure 4.

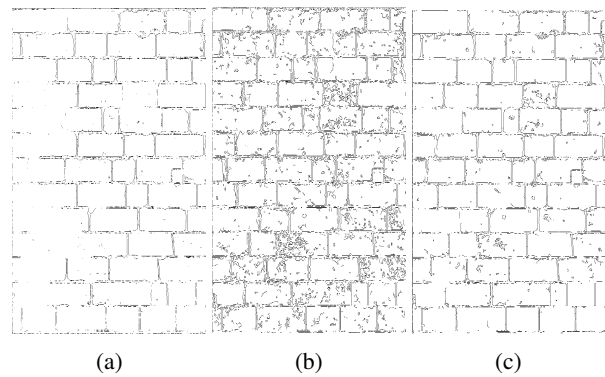


FIGURE 4 – Détection des contours sur l'échantillon de la figure 2a : (a) Sobel; (b) Canny, (c) Sobel et Canny

La fermeture des contours consiste en une dilatation des contours détectés avec deux éléments structuraux qui tiennent compte de la dimension approximative des pierres, l'un horizontal et l'autre vertical, pour fermer les contours. Le but visé par cette étape est de recouvrir les parties de joints manquants et consolider les joints très fins détectés.

Sur l'échantillon obtenu après dilatation, nous appliquons une opération morphologique de remplissage des trous. Le remplissage des trous dans une image en niveaux de gris supprime tous les minima qui ne sont pas connectés aux contours dans l'image ou, de manière équivalente, impose l'ensemble des minima qui sont connectés aux contours dans l'image [9]. Cette opération a permis le retrait des bruits provenant des taches sur la surface des pierres. Les bruits liés aux joints sont demeurés inchangés. La méthode s'achève par la suppression des régions trop petites. Nous considérons comme régions trop petites, toutes les régions dont l'aire est plus petite que le tiers de l'aire de la surface d'une pierre, en considérant les connaissances a priori. Ces régions sont généralement des zones situées sur des joints un peu larges ou des pierres incomplètes en bordure de l'échantillon.

### 4 Résultats expérimentaux

Nous avons testé la méthode proposée sur cinq sections prélevées sur toute la longueur de l'orthophotographie de l'aile de Sud de taille environ 1.5 millions de pixels (figure 5). La figure 6 montre les résultats expérimentaux obtenus.



FIGURE 5 – Orthophotographie de l'aile sud du Château de Chambord et échantillons prélevés

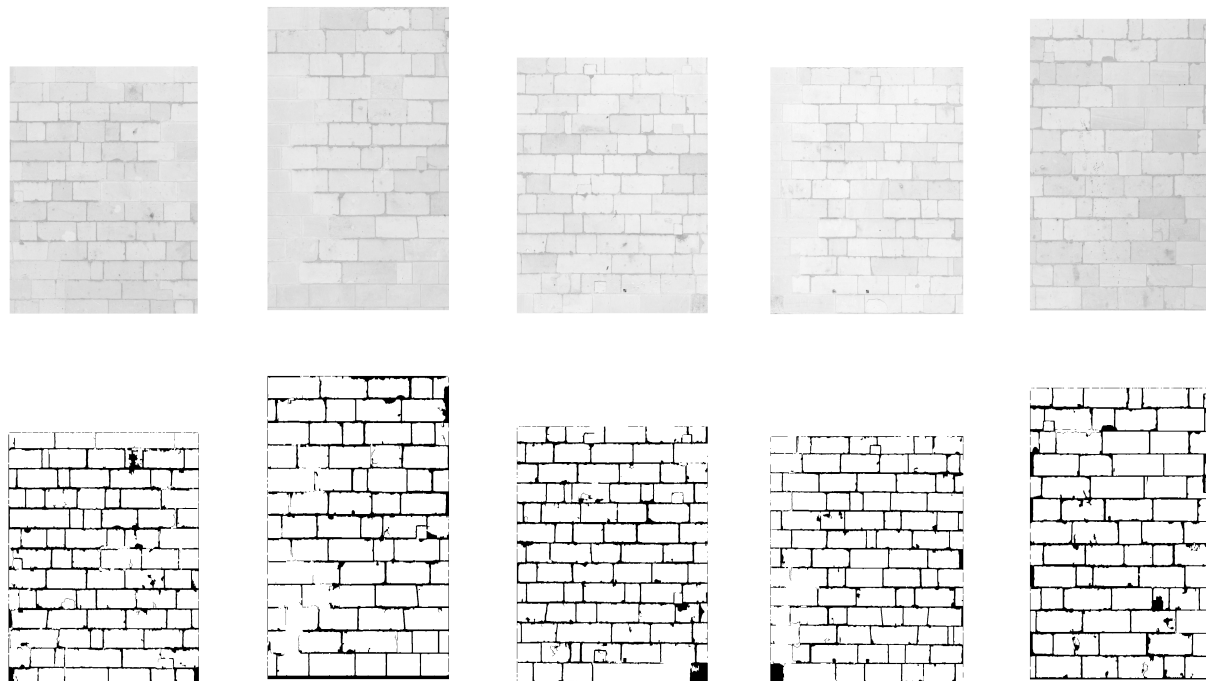


FIGURE 6 – Échantillons d’images et segmentations des joints obtenues.

## 5 Conclusion et perspectives

Dans cet article, nous présentons un algorithme qui effectue la segmentation pierre-à-pierre des murs des bâtiments historiques dans le but d’automatiser l’étiquetage manuel des pierres pour effectuer une analyse et un diagnostic dans le processus de restauration. Les tests ont été effectués sur une orthophotographie de l’aile sud du château de Chambord.

Une prochaine étape peut être l’amélioration de l’épaisseur des joints pour augmenter la précision de la détection des joints. Une approche avec la transformée de Hough pourrait permettre de mieux compléter les contours de pierres manquants et de supprimer les artéfacts avec des contraintes sur les directions à faible contraste. Les perspectives envisagent également d’augmenter la base d’images et de faire une évaluation quantitative de la qualité de la segmentation.

## Références

- [1] Anna Maria Manfredini, Valentina Baroncini, and Cristiana Corsi. An integrated and automated segmentation approach to deteriorated regions recognition on 3d reality-based models of cultural heritage artifacts. *Journal of Cultural Heritage*, 13(4) :371 – 378, 2012.
- [2] P Kapsalas, M Zervakis, P Maravelaki-Kalaitzaki, ET Delegou, and A Moropoulou. Machine vision schemes towards detecting and estimating the state of corrosion. In *Pattern Recognition and Signal Processing in Archaeometry : Mathematical and Computational Solutions for Archaeology*, pages 146–165. IGI Global, 2012.
- [3] E Grilli, D Dinunno, G Petrucci, and F Remondino. From 2d to 3d supervised segmentation and classification for cultural heritage applications. *International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing & Spatial Information Sciences*, 42(2), 2018.
- [4] Enrique Valero, Frédéric Bosché, and Alan Forster. Automatic segmentation of 3d point clouds of rubble masonry walls, and its application to building surveying, repair and maintenance. *Automation in Construction*, 96 :29 – 39, 2018.
- [5] Jae S Lim. Two-dimensional signal and image processing. *Englewood Cliffs, NJ, Prentice Hall*, 1990, 710 p., 1990.
- [6] Karel Zuiderveld. Contrast limited adaptive histogram equalization. In *Graphics gems IV*, pages 474–485. Academic Press Professional, Inc., 1994.
- [7] John Canny. A computational approach to edge detection. *Pattern Analysis and Machine Intelligence, IEEE Transactions on*, PAMI-8 :679 – 698, 12 1986.
- [8] I Sobel. An isotropic  $3 \times 3$  gradient operator, machine vision for three-dimensional scenes. *Freeman, H., Academic Press, NY*, page 376379, 1990.
- [9] Pierre Soille. *Morphological image analysis : principles and applications*. Springer Science & Business Media, 2013.