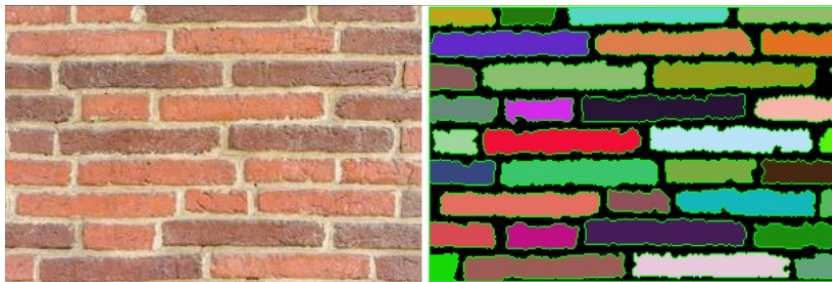


## Proposition de stage M2 (candidatures M1 acceptées)

DIM PAMIR

Patrimoines matériels - innovation, expérimentation et résilience

### Projet ARCH : Automatic Recognition and Classification of Historical masonry



Exemple de segmentation d'image (Raphaël Pelenc, rapport de stage de M1, DER GCE, ENS-Paris-Saclay)

## 1. Informations relatives au stage proposé

### 1.1. Résumé en français

La lecture stratigraphique des élévations d'un bâtiment permet à l'archéologie du bâti de retracer son évolution chronologique. Elle repose sur deux étapes: 1) l'identification des techniques de construction; 2) la cartographie de ces techniques sur les élévations.

Les techniques de construction se définissent par l'agencement des composantes de la maçonnerie (moellons, blocs, mortier, briques, tuiles). Elles peuvent être distinguées à partir de la distribution statistique de divers indicateurs : longueur, hauteur, type de matériaux, etc. La méthode classique consiste à mesurer ces indicateurs sur un échantillon de 1 m<sup>2</sup>. La cartographie des techniques de construction permet ensuite, sous certaines hypothèses, d'identifier des phases de construction cohérentes au sein d'une élévation.

Dans ce contexte, l'utilisation d'outils de segmentation d'images, et de *clustering*, pourrait faciliter ces deux opérations et ouvrir la possibilité d'intégrer de nouveaux paramètres pour affiner la définition des techniques de construction des opus romains. Se pose alors la question de la pertinence de ces outils par rapport à la méthode d'identification traditionnelle menée par l'archéologue du bâti.

Deux approches d'analyse d'images de maçonneries anciennes ont récemment été développées par les porteurs du projet : une segmentation fondée sur des algorithmes d'apprentissage profond (Fornaciari, 2025) ; une segmentation reposant sur les ondelettes (Pelenc, 2023).

Le projet vise à comparer ces approches à la lecture stratigraphique réalisée en archéologie du bâti, et à évaluer leurs performances respectives. Cette comparaison s'appuyera sur des outils quantitatifs (score F1, précision, recall, etc). Une collection d'image de techniques de construction romaines sera assemblée à l'occasion. Le projet s'inscrit dans le cadre du programme collaboratif **Ma-Meson**, qui favorise la mutualisation des outils et des savoir-faire entre les différents membres de l'équipe (ici le traitement d'image par algorithme de segmentation et l'archéologie du bâti par l'utilisation de logiciel de dessin).

## 1.2. Résumé en anglais

The stratigraphic reading of a building's elevations allows construction archaeology to trace its chronological evolution. It is based on two steps: 1) identifying construction techniques; 2) mapping these techniques on the elevations.

Construction techniques are defined by the arrangement of masonry components (rubble stone, blocks, mortar, bricks, tiles). They can be distinguished based on the statistical distribution of various indicators: length, height, type of materials, etc. The classic method consists of measuring these indicators on a 1 m<sup>2</sup> sample. Mapping construction techniques then allows, under certain assumptions, the identification of coherent construction phases within an elevation.

In this context, the use of image segmentation and clustering tools could facilitate these two operations and open up the possibility of integrating new parameters to refine the definition of Roman building techniques. This raises the question of the relevance of these tools in relation to the traditional identification method used by building archaeologists.

Two approaches to analysing images of ancient masonry have recently been developed by the project leaders: segmentation based on deep learning algorithms (Fornaciari, 2025) and segmentation based on wavelets (Pelenc et al., 2023).

The project aims to compare these approaches with traditional stratigraphic interpretation and to evaluate their respective performances. It is part of the **Ma-Meson** collaborative programme, which promotes the sharing of tools and expertise between the different members of the team (image processing and construction archaeology).

### References :

- Fornaciari, L. (2025). AI and Deep Learning for Image-Based Segmentation of Ancient Masonry: A Digital Methodology for Mensiochronology of Roman Brick. *Heritage*, 8(7), 241.
- Pelenc R. (2023). Wavelet for automatic markers identification in watershed segmentation of ancient masonry. Rapport de stage de M1 au Département d'Enseignement et de Recherche de Génie Civil et Environnement de l'ENS Paris-Saclay..

## 1.3. Description détaillée du stage

### **Description du stage, explicitant notamment les activités du stagiaire et les aspects de formation associés**

Le stage se déroulera au **Laboratoire de Mécanique Paris-Saclay** (Arnaud Montabert), en collaboration avec l'**École Française de Rome** (Evelyne Bukowiecki, Lorenzo Fornaciari), le

**Département de Génie Civil, Informatique et Technologies Aéronautiques de l'Université Roma Tre** (Pietro Meriggi) et le soutien du laboratoire **AORoc - ENS-PSL** (Hélène Dessales, Agnès Tricoche).

Il sera structuré en trois volets :

**1- Constitution d'un corpus d'images**

Une collection d'images représentatives des principaux *opus* (*opus testaceum*, *opus reticulatum*, *opus mixtum* à panneaux, *opus listatum*, etc.) de la région de Rome sera constituée à partir de la base de données **AcoR** et de la documentation de fouille conservée à l'École Française de Rome (EFR), notamment pour le site de Portus. Le corpus se concentrera principalement sur les opus de la région de Rome et de Pompéi en s'étalant sur une période de temps allant de l'Antiquité à l'époque médiévale.

**2- Caractérisation statistique des opus**

Les images sélectionnées seront analysées à l'aide des deux algorithmes de segmentation développés et utilisés par les porteurs du projet, ainsi que par la méthode stratigraphique traditionnelle (logiciel de dessin). Les résultats des trois méthodes seront comparés pour évaluer la pertinence des méthodes de segmentation. Les opus sont qualifiés à partir de la distribution statistique de la longueur et de la hauteur des éléments constituant la maçonnerie. Ce processus de segmentation permettra d'augmenter le nombre de paramètres statistiques et d'en interroger de nouveaux (morphologie des joints, surface, critère de courbure). À terme, ses résultats pourraient être utilisés pour interroger des cas de réemplois des matériaux, couramment pratiqués durant la période médiévale (cas d'application à Portus). Les développements seront conduits sur la plateforme collaborative **Ma-Meson**, en interaction avec les encadrants spécialistes en archéologie de la construction (EFR, AORoc) et en traitement d'image appliqué aux maçonneries anciennes (LMPS, EFR, Roma Tre).

**3- Analyse stratigraphique d'une élévation**

Les caractéristiques statistiques identifiées à l'étape précédente seront utilisées pour cartographier la distribution des techniques de construction sur l'orthophotographie d'une élévation du site de Portus, en mobilisant des méthodes de *clustering*. Cette étape permettra de comparer les apports et les limites des méthodes de segmentation par rapport à l'analyse stratigraphique traditionnelle.

L'ensemble du travail sera conduit sur la plateforme **Ma-Meson**, afin de favoriser les échanges entre spécialistes (traitement d'image et archéologie du bâti) et de soutenir la démarche interdisciplinaire du/de la stagiaire.

**Calendrier de travail**

Février-Mars : Assemblage d'une collection d'image à partir de la base AcoR, et de la documentation archéologique de l'École Française de Rome (EFR) sur le site de Portus. Possibilité de séjour à l'EFR.

Avril-Mai : Description statistique de chaque opus, et identification de critères statistiques sur la plateforme Ma-Meson en testant les trois approches (machine learning, ondelette, méthode ACoR).

Juin-Juillet : Développement d'une méthode de cartographie des techniques de construction à partir des trois méthodes. Application sur une orthophoto de l'élévation d'un bâtiment du site de Portus. Rédaction du rapport de fin d'étude.

### **Descriptif du profil recherché**

Nous recherchons un/une étudiant/étudiants de M2 (ou M1) recherche en sciences de l'ingénieur, ou sciences de l'archéologie, ou sciences informatiques possédant un solide bagage en traitement d'image et programmation ou lecture stratigraphique. Des compétences en programmation, notamment en Python et sur les outils en accès libre, sont essentielles pour utiliser et développer des outils de simulation et de diagnostic. Une appétence pour le patrimoine historique est également souhaitée, car le projet implique l'application de ces compétences à l'archéologie de la construction. Le/la candidat/candidate doit être rigoureux/rigoureuse, curieux/curieuse et motivé/motivée par des défis interdisciplinaires alliant traitement d'image et archéologie du bâti.

**Niveau de qualification requis : M2 en sciences de l'ingénieur, OU M2 en sciences de l'archéologie, OU M2 en sciences informatiques (les candidatures de M1 sont acceptées et seront traitées au cas par cas).**

**Durée du stage : 6 mois (à adapter selon l'année du master)**

**Date prévisionnelle de démarrage : 2 février 2026**

### **2. Localisation du stage**

**Laboratoire de Mécanique Paris-Saclay, équipe OMEIR, 4 Av. des Sciences, 91190 Gif-sur-Yvette**

### **3. Contact et responsable scientifique du stage**

**Nom du responsable scientifique du stage : Arnaud Montabert**

**Adresse mail du responsable scientifique du stage : [arnaud.montabert@ens-paris-saclay.fr](mailto:arnaud.montabert@ens-paris-saclay.fr)**

### **4. Date limite de candidature et jury de sélection**

**Date limite :** le vendredi 14 novembre à 12h (midi), heure de Paris.

**Documents attendus :** une lettre de motivation décrivant votre intérêt pour le projet, vos compétences, ainsi qu'un CV

**Composition du jury:** la sélection sera assurée par un jury composé de : Pietro Meriggi (Roma Tre), Evelyne Bukowiecki (EFR), Lorenzo Fornaciari (EFR), et Arnaud Montabert (LMPS).

**Date du jury :** communiquée par mail aux candidat(e)s