



**HAL**  
open science

## Approches classiques et neuronales pour la reconstruction 3D photométrique

Yvain Qu Éau

► **To cite this version:**

Yvain Qu Éau. Approches classiques et neuronales pour la reconstruction 3D photométrique. Optique Normandie - Congrès de la SFO, 2024, Rouen, France. hal-04683635

**HAL Id: hal-04683635**

**<https://hal.science/hal-04683635>**

Submitted on 2 Sep 2024

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

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

# APPROCHES CLASSIQUES ET NEURONALES POUR LA RECONSTRUCTION 3D PHOTOMÉTRIQUE

Yvain QUÉAU

Normandie Univ, UNICAEN, ENSICAEN, CNRS, GREYC, 14000 Caen, France

yvain.queau@ensicaen.fr

## RÉSUMÉ

Dans ce travail, nous ferons un tour d’horizon des approches classiques et neuronales pour la reconstruction 3D photométrique, afin de mettre en évidence leurs forces et faiblesses respectives. Dans un second temps, nous présenterons des applications en conservation du patrimoine, notamment pour la numérisation 3D à haute résolution de la Tapisserie de Bayeux.

**MOTS-CLEFS :** *reconstruction 3D ; stéréophotométrie ; apprentissage profond ; patrimoine culturel*

## 1. INTRODUCTION

La reconstruction 3D photométrique, ou stéréo-photométrie, consiste à estimer le relief d’une surface à partir de photographies acquises depuis le même point de vue, mais sous des conditions d’éclairage actif. Il s’agit d’un problème inverse classique en vision par ordinateur, dont la résolution permet d’extraire des informations à la fois sur les variations très fines du relief d’une surface, ainsi que sur sa réflectance.

## 2. APPROCHES CLASSIQUES ET NEURONALES

Traditionnellement, ce problème a d’abord été résolu par l’inversion numérique d’un modèle physique paramétrique, produisant des solutions peu gourmandes en ressources et interprétables pour la reconstruction des structures fines de surfaces bien approchées par le modèle de réflectance Lambertienne pour les surfaces mates (Figure 1). Cependant, ces dernières années ont vu un virage vers des approches basées sur l’intelligence artificielle, où les architectures de réseaux neuronaux apprennent directement l’association entre les images et la géométrie à partir d’ensembles de données massives. Bien que de telles méthodes excellent dans la reconstruction du relief pour les surfaces très réfléchissantes (Figure 2), elles posent des défis en termes de besoins en ressources et d’interprétabilité, car les modèles de réflectance sont implicitement encodés de manière opaque dans les nombreux coefficients du réseau.



FIGURE 1 : Reconstruction 3D d’une surface mate en utilisant l’approche classique des problèmes inverses. À gauche : deux photographies d’une scène de la Tapisserie de Bayeux, prises sous deux conditions d’éclairage différentes. À droite : la reconstruction 3D, présentée ici sous forme de carte de normales, met en évidence la finesse des fils de cette broderie. Un tel résultat est obtenu très efficacement et est physiquement interprétable, cependant, la méthodologie sous-jacente ne peut pas gérer les surfaces très brillantes. Source des images : [1].



FIGURE 2 : Reconstruction 3D d'une surface très brillante en utilisant l'approche neuronale. À gauche : deux photographies d'un lapin en aluminium. À droite : malgré le comportement spéculaire de la surface, la reconstruction 3D est très précise. En revanche, le résultat n'est pas physiquement interprétable, et l'obtenir nécessite des données d'apprentissage massives et une puissance de calcul importante. Source des images : [2].

### 3. APPLICATIONS EN PRÉSERVATION DU PATRIMOINE

La mise en œuvre la reconstruction 3D photométrique dans le contexte du patrimoine culturel permet de réaliser des « jumeaux numériques », c'est-à-dire des copies numériques de ces œuvres. Ces jumeaux numériques peuvent ensuite être explorés à distance par les scientifiques et le grand public, répondant ainsi à des problématiques d'accessibilité des œuvres muséales. La deuxième partie de notre travail présentera ainsi les difficultés inhérentes à de telles acquisitions, ainsi que le protocole expérimental et les solutions algorithmiques qui ont été mises en place afin de numériser différentes œuvres comme la Tapisserie de Bayeux (Figure 1) ou des grottes ornées (Figure 3).

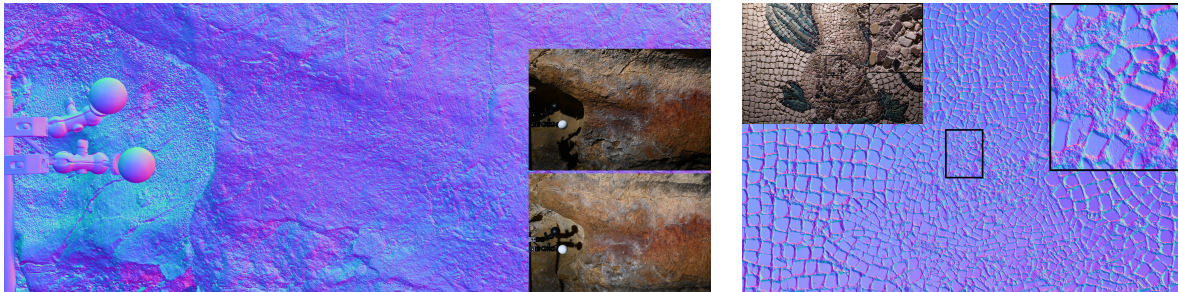


FIGURE 3 : Reconstruction 3D de deux œuvres du patrimoine culturel. À gauche : reconstruction 3D de la grotte de Marsoulas, et deux des images d'entrée (crédits des images : A. Laurent 2023 (INPT, UMR 5505 IRIT), équipe de C. Fritz et G. Tosello (CREAP-E.Cartailhac), MSHS-T (UAR 3414)). À droite : reconstruction 3D de la mosaïque des Saisons, avec l'une des images d'entrée (crédits : A. Laurent (INRT, UMR 5055 IRIT)/MAN). Ces reconstructions 3D très précises ont été obtenues à l'aide de la technique d'apprentissage profond que nous avons récemment développée [2]. Cependant, les images étant extrêmement grandes ( $8000 \times 6000$ ,  $px$ ), le calcul a nécessité plusieurs heures, ce qui n'est pas pratique pour la caractérisation *in situ* d'œuvres patrimoniales.

### RÉFÉRENCES

- [1] M. Redon, M. Pizenberg, Y. Quéau, and A. Elmoataz, "3D surface Approximation of the Entire Bayeux Tapestry for Improved Pedagogical Access," in *4th ICCV Workshop on Electronic Cultural Heritage*, Proceedings of the IEEE International Conference on Computer Vision (ICCV) Workshops, 2023.
- [2] C. Hardy, Y. Quéau, and D. Tschumperlé, "Uni MS-PS : a Multi-Scale Encoder Decoder Transformer for Universal Photometric Stereo." <https://hal.science/hal-04431103>, Feb. 2024.