

## Machine learning for image-based wavefront sensing

**Auteur :** Vanberg, Pierre-Olivier

**Promoteur(s) :** Absil, Olivier; Louppe, Gilles

**Faculté :** Faculté des Sciences appliquées

**Diplôme :** Master en ingénieur civil physicien, à finalité approfondie

**Année académique :** 2018-2019

**URI/URL :** <http://hdl.handle.net/2268.2/6800>

---

### *Avertissement à l'attention des usagers :*

*Tous les documents placés en accès ouvert sur le site le site MatheO sont protégés par le droit d'auteur. Conformément aux principes énoncés par la "Budapest Open Access Initiative"(BOAI, 2002), l'utilisateur du site peut lire, télécharger, copier, transmettre, imprimer, chercher ou faire un lien vers le texte intégral de ces documents, les disséquer pour les indexer, s'en servir de données pour un logiciel, ou s'en servir à toute autre fin légale (ou prévue par la réglementation relative au droit d'auteur). Toute utilisation du document à des fins commerciales est strictement interdite.*

*Par ailleurs, l'utilisateur s'engage à respecter les droits moraux de l'auteur, principalement le droit à l'intégrité de l'oeuvre et le droit de paternité et ce dans toute utilisation que l'utilisateur entreprend. Ainsi, à titre d'exemple, lorsqu'il reproduira un document par extrait ou dans son intégralité, l'utilisateur citera de manière complète les sources telles que mentionnées ci-dessus. Toute utilisation non explicitement autorisée ci-avant (telle que par exemple, la modification du document ou son résumé) nécessite l'autorisation préalable et expresse des auteurs ou de leurs ayants droit.*

---

# Machine learning for image-based wavefront sensing

University of Liège - Faculty of Applied Sciences

**Pierre-Olivier Vanberg**

Master thesis in Physical Engineering

Under the supervision of Dr. Olivier Absil and Dr. Gilles Louppe.

**Abstract:** Astronomical images are often degraded by the disturbance of the Earth's atmosphere. Indeed, light propagating to ground-based telescopes is distorted by the random motions of the turbulent atmosphere. Adaptive Optics (AO) partly solves this problem by flattening in real time the wavefront. The role of AO is first to acquire information about the distortions and then to adjust a deformable mirror to compensate these optical aberrations. Notwithstanding the efficiency of AO systems, some intrinsic limitations remain. In particular, the presence of unseen aberrations called Non-Common Path Aberrations (NCPA) still represent a real challenge for extreme AO observation tasks such as exoplanet direct imaging.

Image-based wavefront sensing methods are specifically designed algorithms dedicated to estimate the wavefront from science camera intensity measurements. This approach is particularly desirable as it requires no additional components and solely depends on the observed images. This thesis thus proposes to improve image-based wavefront sensing techniques using machine learning algorithms. Deep convolutional neural networks (CNN) have been trained to estimate the wavefront using one or multiple intensity measurements. The efficiency of state-of-the-art architectures is reviewed and compared on two different data sets: 20 Zernike modes and 100 Zernike modes. In both configuration, the direct pixel-wise estimation of the phase map has been shown to outperform the modal phase reconstruction.

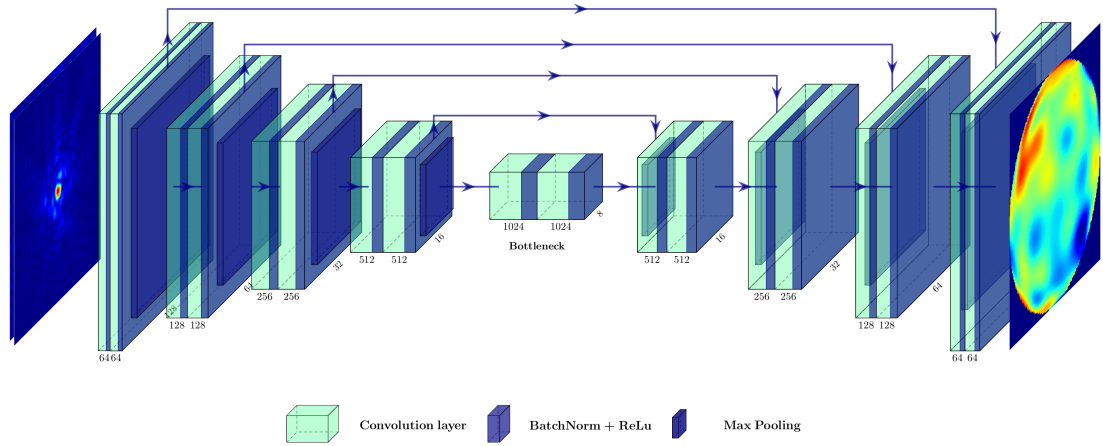


FIGURE 1: U-net architecture: deep convectional neural network.

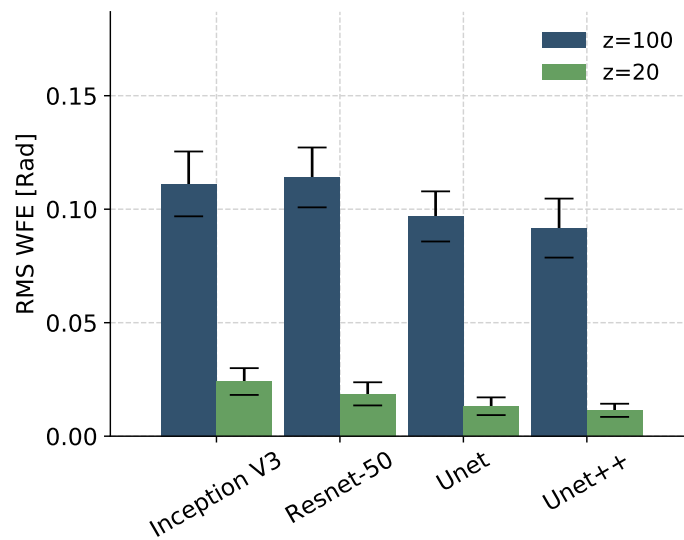


FIGURE 2: RMS wavefront error between the exact and the estimated phase map for the different architectures explored.