

LE PROJET CEIL : déconvolution par diversité de phase 3D d'images de la rétine corrigées par optique adaptative

Guillaume CHENEGROS (DOTA-ONERA / Phase), Marie GLANC (LESIA / Phase), Laurent MUGNIER (DOTA-ONERA / Phase), François LACOMBE (Mauna Kea Technologies), Leonardo BLANCO (LESIA / Phase)

Objectifs

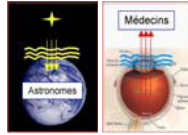
- Mise au point d'un système de tomographie *in vivo* de la rétine humaine à haute résolution latérale et axiale en utilisant des techniques développées en astronomie comme l'Optique Adaptative (OA).
- La correction des aberrations par l'OA est partielle : développement de traitements numériques *a posteriori* afin d'améliorer la résolution latérale et longitudinale.

Contexte social

- 30 millions de personnes à travers le monde atteintes de dégénérescence maculaire liée à l'âge (DMLA) en 2000.
- Sur 135 millions de diabétiques, seulement 25 % sont suivis par un ophtalmologiste.
- Sur 134 millions de glaucomes recensés, seulement la moitié des cas sont traités.
- 50 % des cas de cécité sont dus à ces trois pathologies. En 2025, ces chiffres auront triplé : le dépistage précoce est le plus sûr moyen d'enrayer cette progression.

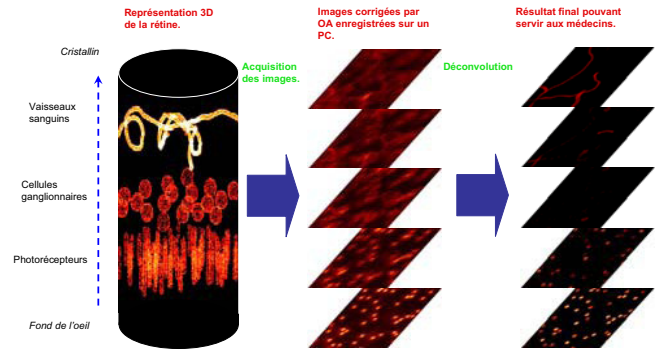
Contexte scientifique

- En astronomie, utilisation de l'OA pour combattre les effets de la turbulence atmosphérique.
 - Mesure, en temps réel, de la déformation du front d'onde.
 - Compensation des déviations aléatoires des rayons lumineux incidents par un miroir déformable.
- Exploration endoscopique non invasive du segment postérieur (rétine) de l'oeil inexistant.
- Très mauvaise qualité optique du segment antérieur (cornée, cristallin) donc examen direct depuis l'extérieur de l'oeil difficile.
 - Application des techniques d'OA à l'examen *in vivo* du tissu rétinien¹.



Déconvolution

- Observation de la rétine à haute résolution avec l'OA.
- Résolution latérale affectée par une correction partielle des aberrations par l'OA.
- Résolution longitudinale affectée par l'imagerie 3D d'un objet partiellement transparent.
 - Amélioration de la résolution latérale et longitudinale par l'utilisation de la déconvolution 3D.



Résultats obtenus par simulation.

- Déconvolution 3D performante uniquement si la réponse du système (FEP) est connue précisément.

Déconvolution Myope

- Difficulté à mesurer la FEP avec précision.
 - Développement d'une méthode d'estimation simultanée de l'objet et de la FEP² ;
- Méthode dite myope car :
 - FEP inconnue,
 - Nombreuses contraintes utilisées pour améliorer l'inversion :
 - Positivité sur l'objet,
 - FEP paramétrisée par φ et quelques polynômes de Zernike ;
- Malgré toutes ces contraintes l'estimation de la FEP est décevante : le problème reste trop sous déterminé.

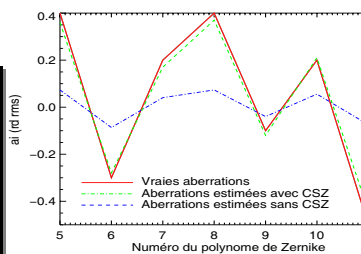
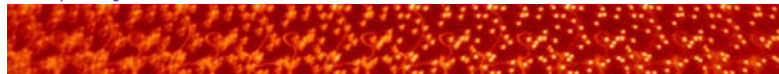
Diversité de phase 3D

- Extension de la diversité de phase 2D à trois dimensions.
- Addition d'une contrainte de support en Z (CSZ) pour mieux contraindre l'inversion : on prend des images supplémentaires focalisées devant l'objet et on impose que les plans objets correspondants soient vides ;
- Plus de données pour le même nombre d'inconnues que dans le cas « myope » ;
- Résultats obtenus par simulation :

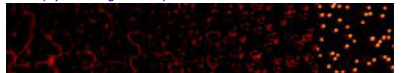
Les 10 plans objet (seulement 5 plans sont non vides).



Les 10 plans image.



Objet restauré avec la méthode myope sans la contrainte de support en Z (5 plans image utilisés).

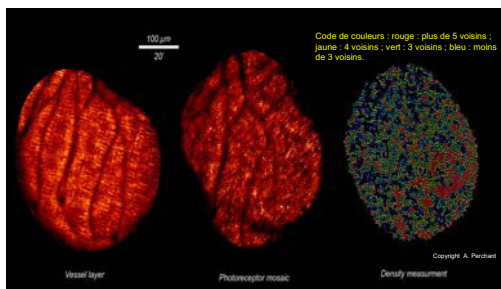


Objet restauré avec la méthode myope et la contrainte de support en Z (10 plans image utilisés).



Résultats

- Étape 1 : acquisition des images.
- Étape 2 : positionnement des images. A partir d'une analyse basée sur des calculs de corrélations croisées, on déduit la position relative de chaque image. La précision finale de positionnement est meilleure que 0,5 μ m sur la rétine.
- Étape 3 : traitement des images. A partir de la série d'images repositionnées les unes par rapport aux autres, on peut obtenir une image moyenne en réflectance en moyennant l'ensemble des images retenues, tout en tenant compte du nombre de mesures pour chaque pixel. Les capillaires peuvent alors être observés et leurs parois résolues (cf. Figure ci-dessus, gauche). Lorsque la caméra d'imagerie est conjuguée de la couche des photorécepteurs, on peut utiliser ce type d'images (Figure ci-dessus, milieu) pour effectuer du comptage de cellules (Figure ci-dessus, droite). On peut également étudier la circulation sanguine dans les capillaires en se basant sur des calculs de variance temporelle.



Conclusion et perspectives

- Développement d'un banc d'OA pour l'oeil :
 - Amélioration de la résolution latérale des images *in vivo*.
- Développement d'une méthode de déconvolution 3D à FEP inconnue originale :
 - Estimation des aberrations par extension 3D de la diversité de phase.
 - Amélioration de la résolution latérale et longitudinale des images.
- Mise au point d'outils de « diagnostic médical » :
 - Comptage de cellules.
 - Étude de la circulation sanguine.

Contacts : Guillaume.Chenegros@onera.fr
Marie.Glanc@obspm.fr
Laurent.Mugnier@onera.fr
Francois@maunakeatech.com
Leonardo.Blanco@obspm.fr

¹M. Glanc, E. Gendron, F. Lacombe, D. Lafaille, J.-F. Le Gargasson, P. Léna, « Towards wide-field retinal imaging with adaptive optics », Optics Communications (2004), 225-238

²G. Chenegros, L. M. Mugnier, F. Lacombe, and M. Glanc. 3D phase diversity: a myopic deconvolution method for short-exposure images. Application to retinal imaging. J. Opt. Soc. Am. A, 24(5):1349-1357, May 2007.

