

# Comparaison de surfaces quasi-sphériques

## Application à la biométrie cornéenne

Arnaud Polette<sup>1,2</sup>, Jean-Luc Mari<sup>1</sup>, Isabelle Brunette<sup>4</sup> et Jean Meunier<sup>2,3</sup>

<sup>1</sup>Aix-Marseille Université, LSIS (UMR CNRS 7296)

<sup>2</sup>Département d'Informatique et de Recherche Opérationnelle (DIRO), Université de Montréal

<sup>3</sup>Institut de Génie Biomédical, Université de Montréal

<sup>4</sup>Hopital Maisonneuve-Rosemont et Département d'Ophtalmologie, Université de Montréal

---

### Résumé

*Ce document porte sur un problème en cours d'étude, l'objectif est de reconnaître une surface parmi un groupe de surfaces à l'aide leurs acquisitions 3D respectives, dans le cadre d'une application de biométrie sur la cornée. L'idée est de quantifier la différence entre chaque surface et une surface donnée, et de déterminer un seuil permettant la reconnaissance. Ce seuil est dépendant des variations normales au sein d'un même sujet, et au bruit inhérent à l'acquisition. Les surfaces sont rognées et trouées de façon imprévisible, de plus il n'y a pas de point de mise en correspondance commun aux surfaces. Deux méthodes sont proposées. La première consiste à calculer le volume entre les surfaces après avoir effectué un recalage, et à utiliser ce volume comme un critère de similarité. La seconde approche s'appuie sur une décomposition en harmoniques sphériques en utilisant les coefficients comme des descripteurs de forme, qui permettront de comparer deux surfaces. Des résultats préliminaires sont présentés pour chacune des méthodes.*

---

### 1. Introduction

De nos jours, la reconnaissance biométrique est utilisée de façon courante, afin d'identifier une personne en utilisant une caractéristique du corps humain propre à chacun. Différentes parties du corps sont couramment utilisées : les empreintes digitales, la paume de la main, l'empreinte du pied, l'iris, les réseaux veineux, les traits du visage ou encore l'empreinte de l'oreille. Dans cette étude, on se propose d'utiliser une autre partie de l'anatomie : la cornée. C'est la membrane située à l'extérieur du globe oculaire, elle peut être mesurée sans contact (donc de façon non intrusive) par un topographe cornéen (couramment utilisé par les ophtalmologistes). Plusieurs études comparant des surfaces cornéennes dans un contexte médicale existent, afin de faire des études statistiques sur des chirurgies [HNN94], ou selon différentes tranches d'âge [HHH95]. En 2002 Buehren *et al.* soulèvent le besoin de réaligner les surfaces pour correctement les comparer [BLCI02]. En 2005, Grzybowski *et al.* décrivent des points de mise en correspondance [GRMC05]. En 2012 Auvinet *et al.* décrivent une méthodologie de comparaison de surfaces cornéennes par un recalage sur un référentiel sphérique [AMO\*12]. Et en 2014, une méthode de

recalage de surface cornéenne par minimisation de volume est présentée [PAM\*14], nous utiliserons cette méthode de mise en correspondance pour sa précision. La seule étude [Lew11] portant sur cette problématique qui a été menée à ce jour dans le cadre d'une application à la biométrie utilise une décomposition en polynômes de Zernike [ICD01]. Dans une première partie, une présentation des données et du système acquisition est faite, puis la problématique liée à la comparaison des surfaces est décrite. Deux pistes sont proposées, pour chacune des prototypes ont été implémentés afin de présenter des résultats préliminaires.

### 2. Données et système d'acquisition

La cornée est la partie extérieure de l'œil, elle recouvre environ un cinquième de la surface du globe oculaire, pour une moyenne, chez l'adulte, de 11 mm de diamètre.

L'*Orbscan II* (Bausch & Lomb.) est un appareil de mesure d'élévations de la cornée, il est capable de mesurer la partie antérieure ainsi que la partie postérieure de la cornée avec une marge d'erreur de l'ordre du micron. Les données peuvent se présenter sous la forme de grilles d'élévations

101x101, espacées uniformément de 0,1 mm en x et en y. La Figure 2 (a) illustre les données brutes de l'*Orbscan II*, le système d'acquisition fournit directement ces données après la mesure. La Figure 2 (b) présente la procédure de construction d'un maillage à partir des élévations.

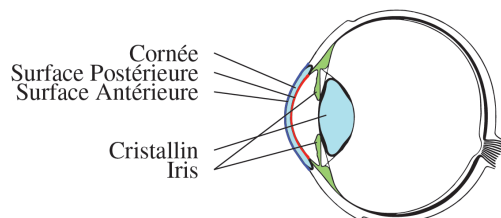
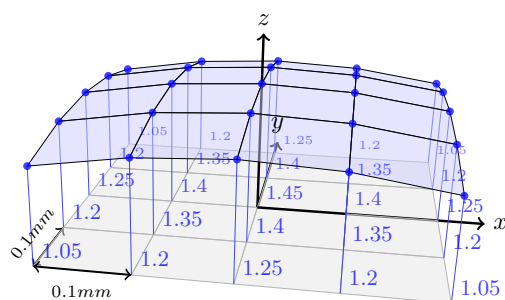


Figure 1: Vue en coupe du globe oculaire

1.05	1.20	1.25	1.20	1.05
1.20	1.35	1.40	1.35	1.20
1.25	1.40	1.45	1.40	1.25
1.20	1.35	1.40	1.35	1.20
1.05	1.20	1.25	1.20	1.05

(a) Données brutes de l'*Orbscan II*



(b) Maillage construit avec les élévations

Figure 2: Construction de la surface avec les données brutes

La cornée étant presque sphérique, un moyen simple et efficace de visualiser l'aspect de sa surface est d'utiliser une référence sphérique afin d'étudier ses différences par rapport à une sphère. Dans un premier temps, la sphère qui correspond le mieux à la grille d'élévation étudiée est calculée, puis la différence qu'il y a avec la surface de la sphère par rapport à son centre en chaque point de cette grille est estimée. Ceci permet d'associer cette différence à une couleur, un jeu de couleurs standard sera utilisé, des couleurs chaudes pour les différences positives (les points extérieurs à la BFS) et des couleurs froides pour les différences négatives (les points intérieurs à la BFS). Les couleurs sont ensuite projetées sur un plan sur l'axe des Z. Les ophtalmologistes utilisent cette représentation par carte de couleurs ainsi que le jeu de couleurs de la Figure 3 pour procéder à leurs examens médicaux.

### 3. Problématiques liées aux comparaisons de surfaces cornéennes

La cornée est une membrane qui n'a que très peu de caractéristiques anatomiques évidentes (comme par exemple les doigts sur une main) ce qui la rend difficile à appréhender. De ce fait, il n'existe pas de réel amer anatomique sur la cornée. De plus, pour les données provenant de l'*Orbscan II*, les grilles sont rognées en périphérie, et parfois trouées, et ce, de façon non prévisible.

La Figure 4 montre deux prises de mesures pour quatre cornées différentes. On voit qu'il existe une variabilité non négligeable, mais que les cartes de couleurs sont très proches pour chaque personne. Les variations peuvent être importantes (voir la cornée c), de plus, les acquisitions sont parfois rognées (par exemple pour la cornée d).

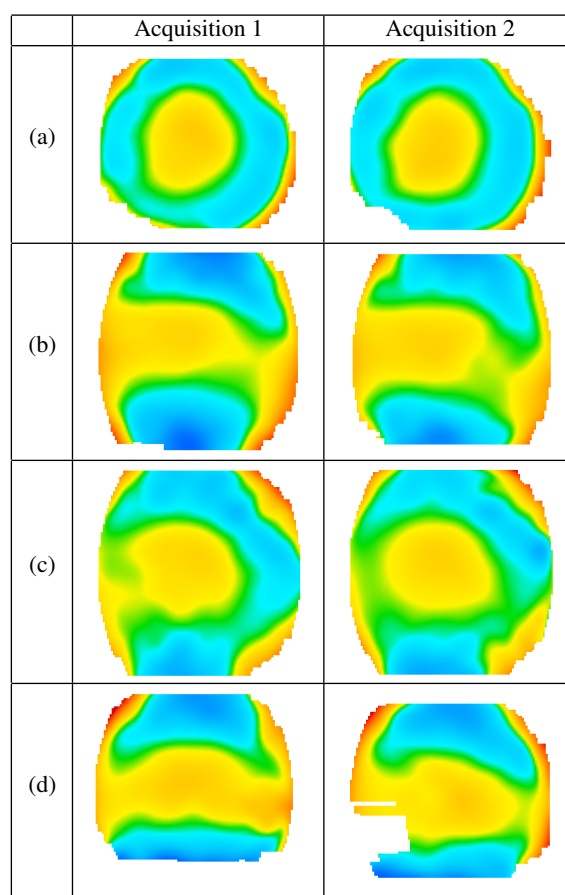


Figure 4: Deux acquisitions (colonne de gauche et de droite) ont été effectuées pour quatre cornées différentes a, b, c et d.

### 4. Méthodes proposées

La première méthode consiste à calculer le volume entre les surfaces après avoir effectué un recalage, et à utiliser ce

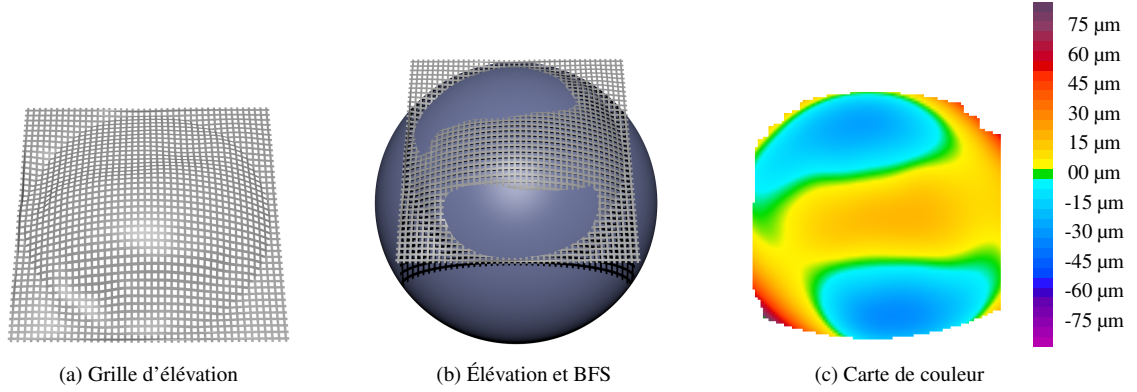


Figure 3: Construction de la carte de couleur par BFS

volume comme un critère de similarité. La seconde approche s'appuie sur une décomposition en harmoniques sphériques afin d'utiliser les coefficients comme des descripteurs de forme, qui permettront de comparer deux surfaces.

#### 4.1. Quantification de différence moyenne minimale

L'idée principale de cette méthode est de calculer une valeur représentative de la différence globale entre deux surfaces. Pour cela, la première étape est de recalcr les surfaces entre elles ensuite une carte de différence entre les surfaces cornéennes peut être dressée en calculant la différence selon l'axe des Z entre les surfaces en chaque point [AMO\*12] (une différence d'élévation point à face est déterminée par une interpolation bilinéaire de l'élévation sur la face aux coordonnées du point ; elle est notée  $diffElev()$  dans l'équation ci-dessous). Le recalage est effectué en minimisant la moyenne des différences absolues ( $mda$ ), avec  $p_{s1}$  un point de la première surface,  $s2$  la seconde surface, et  $n_{s1}$  le nombre de points de  $s1$  :

$$mda = \frac{\sum abs(diffElev(p_{s1}, s2))}{n_{s1}}$$

Cette valeur est aussi un indice fort de similarité entre deux surfaces. Le fait d'utiliser la moyenne rend cette valeur comparable entre plusieurs jeux de surfaces (étant donné que les surfaces n'ont pas toutes le même nombre de points). Plus cette valeur moyenne peut être minimisée, plus les surfaces sont semblables, notre critère de similarité s'appuie sur cette valeur.

La figure 5 montre une carte de différence entre deux acquisitions d'une même personne, avec une différence moyenne absolue de 2.4 microns.

La figure 6 montre une carte de différence entre deux acquisitions de deux personnes différentes, avec une différence moyenne absolue de 16.5 microns.

Ce critère de similarité a été testé entre une surface cornéenne d'une personne A et 100 cornées de différentes personnes parmi lesquelles se trouve une autre surface cor-

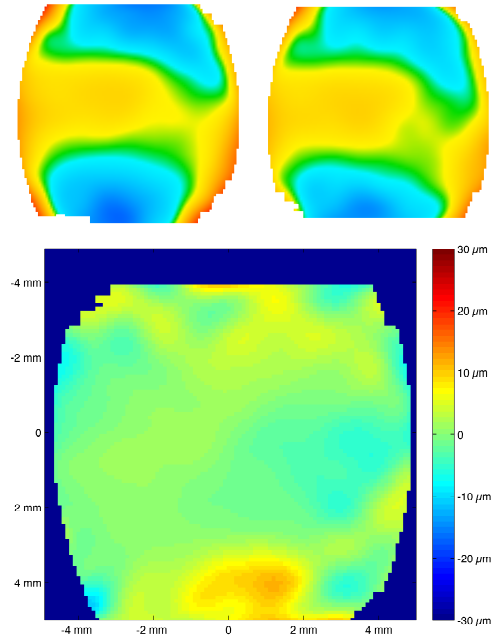


Figure 5: Carte de différence entre deux acquisitions d'une même personne

néenne de A, la figure 7 montre la valeur du critère de similarité pour chaque cornée, la cornée de la personne A parmi les 100 autres est de couleur verte, c'est la valeur la plus basse.

Le même test a été effectué avec un jeu de cornées plus gros, sur 500 cornées, avec des résultats similaires : la valeur la plus basse est celle de A. Nous avons remarqué que la valeur immédiatement plus grande que ce minimum est 150% plus importante.

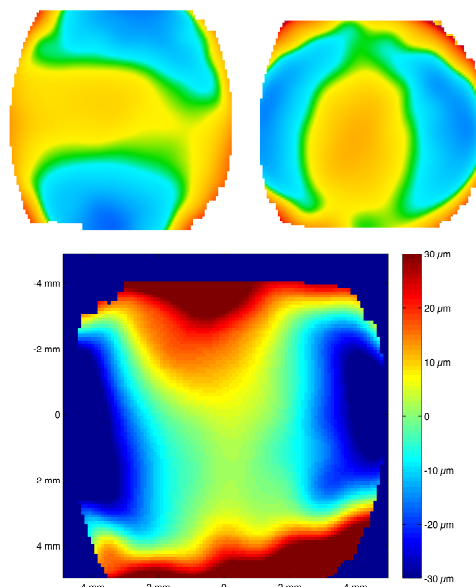


Figure 6: Carte de différence entre deux acquisitions de deux personnes différentes

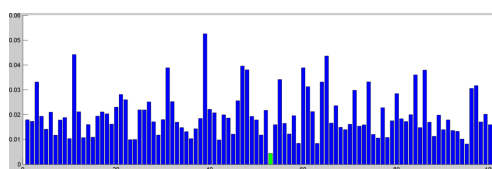


Figure 7: Résultat du test de recherche d'une cornée parmi 100

#### 4.2. Comparaison de coefficients d'harmoniques sphériques

L'idée de la seconde méthode est de décomposer les surfaces cornéennes en harmoniques sphériques, puis de comparer les coefficients un à un afin d'en tirer un critère de similarité entre deux surfaces. La figure 8 montre une liste de coefficients après une décomposition en harmoniques sphériques, le premier coefficient correspond à une sphère, il est donc normal qu'il ait une valeur très grande par rapport aux autres. La figure 9 montre le même graphique avec une échelle permettant de voir les autres coefficients.

Les coefficients ayant des ordres de grandeurs très variables, la différence entre deux mêmes coefficients de cornées différentes est calculée en pourcentage. La moyenne de ces pourcentages est utilisée comme critère global de similarité.

Le même test a été effectué que pour la méthode précédente, rechercher une surface parmi un groupe de surfaces. Les résultats sont très similaires. Pour une recherche

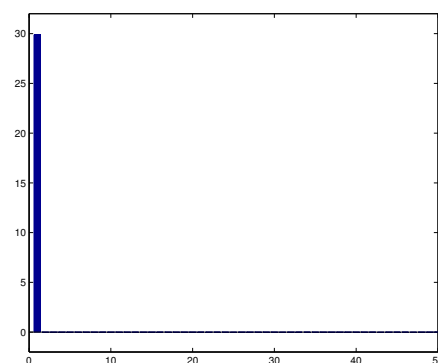


Figure 8: Coefficients après une décomposition en harmoniques sphériques d'une cornée. Toute l'information globale de la sphéricité de la cornée est portée par le premier coefficient.

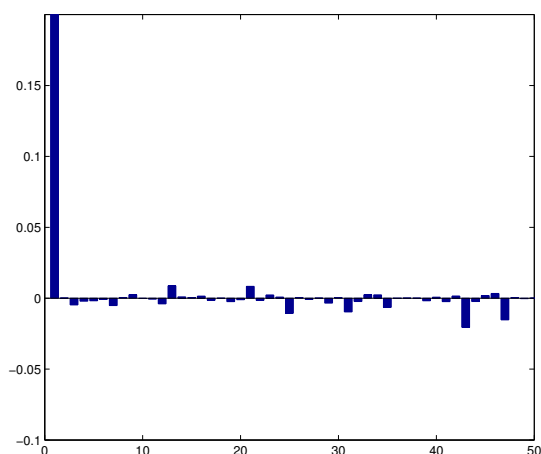


Figure 9: Zoom sur les coefficients

d'un sujet A donné, la valeur la plus basse parmi un groupe d'autres cornées est A avec 100 cornées.

#### 5. Discussion et conclusion

Nous avons proposé deux méthodes afin de répondre à notre problématique, les résultats préliminaires sont prometteurs et incitent à continuer dans cette voie. Ces deux études serviront de base à une étude plus poussée, de nombreuses idées sont encore à explorer : tester des critères de similarités différents, améliorer l'étape de recalage de la première méthode, déterminer clairement pour la seconde méthode quels coefficients sont les plus pertinents pour différencier ou reconnaître une cornée. Il faudra ensuite déterminer si une des deux méthodes est plus fiable qu'une autre, ou si elles peuvent être combinées, en effectuant des statistiques sur

des plus grandes bases de données de cornées. Il faudra aussi prendre en compte les avantages et inconvénients techniques de chacune : une liste de coefficients d'harmoniques sphériques est plus léger à stocker que toute la géométrie, mais la décomposition peut prendre du temps, alors que la première méthode utilise directement les données brutes après acquisition, mais requiert de garder des bases de données de toute la géométrie de la cornée.

De plus, des statistiques montrant dans quelle mesure la biométrie cornéenne est envisageable en pratique devront être dressées, en déterminant les taux de détections de faux-positif et de faux-négatifs, pour ensuite pouvoir les comparer à l'autre méthode de biométrie cornéenne existante [Lew11].

## Références

- [AMO\*12] AUVINET E., MEUNIER J., ONG J., DURR G., GILCA M., BRUNETTE I. : Methodology for the construction and comparison of 3D models of the human cornea. *Engineering in Medicine and Biology Society (EMBC), 2012 Annual International Conference of the IEEE* (Aug. 28 2012-Sept. 1 2012), 5302–5305.
- [BLCI02] BUEHREN T., LEE B. J., COLLINS M. J., ISKANDER D. R. : Ocular microfluctuations and videokeratoscopy. *Cornea*. Vol. 21, Num. 4 (2002).
- [GRMC05] GRZYBOWSKI D. M., ROBERTS C. J., MAHMOUD A. M., CHANG JR J. S. : Model for nonectatic increase in posterior corneal elevation after ablative procedures. *J Cataract Refract Surg*. Vol. 31, Num. 1 (Jan 2005), 72–81.
- [HHH95] HAYASHI K., HAYASHI H., HAYASHI F. : Topographic analysis of the changes in corneal shape due to aging. *Cornea*. Vol. 14, Num. 5 (1995).
- [HNN94] HAYASHI K., NAKAO F., HAYASHI F. : Corneal topographic analysis of superolateral incision cataract surgery. *Journal of Cataract & Refractive Surgery*. Vol. 20, Num. 4 (7 1994), 392–399.
- [ICD01] ISKANDER D. R., COLLINS M. J., DAVIS B. : Optimal modeling of corneal surfaces with Zernike polynomials. *Biomedical Engineering, IEEE Transactions on*. Vol. 48, Num. 1 (Jan. 2001), 87–95.
- [Lew11] LEWIS N. D. : *Corneal topography measurements for biometric applications*. PhD thesis, The University of Arizona, 2011.
- [PAM\*14] POLETTE A., AUVINET E., MARI J.-L., BRUNETTE I., MEUNIER J. : Construction of a mean surface for the variability study of the cornea. *The Conference on Computer and Robot Vision 2014, Montréal, Quebec, May 7-9 (accepté)* (2014).