

AiryLab. 34 rue Jean Baptiste Malon, 04800 Gréoux les Bains

**Rapport de mesure / Optical measurement report**

Référence	2019-06001
Date	09/02/2019
Opérateur	FJ
Procédure de mesure	RF-DP
Haso	HA-4333
LIP	LI-1028
Objectif(s)	MOD32-10
Miroir	RS-530

Client	F Jabet
Type d'optique	MCT
Fabricant	OTI
Nom/modèle	Quantum 6
S/N	GI 153151-C

Longueur d'onde
473
543
635
445

Termes d'aberration pris en compte dans les résultats	
Tilt X	Red
Tilt Y	Red
Focus	Red
Astig 0°	Green
Astig 45°	Green
Coma 0°	Green
Coma 90°	Green
Sphérique	Green

Incertitude PTV	5,96nm
Incertitude RMS	0,56nm
Interpolation	X2
Mode	Zonal + modal
référence	Oui
Mesures moyennées	200
Double passage	Oui
température	20°
Sous pupilles	-
Conjugaison de pupille	Oui

Essais réalisés	
Centrage sur l'axe <sup>(1)</sup>	RA
Mesure sur l'axe	Oui
Mesure chromatisme	Oui
Mesure sur mécanique	Oui
Alignement optique (« collimation »)	Oui
Mesure dans le champ	Non
Courbure de champ	Non
Système correcteur	Non
Conjugaison	∞ Foyer

(1) : RR rétroréflexion laser HENE, RA réduction des aberrations de champ.

Référence	<i>Test reference</i>
Date	<i>Test Date</i>
Opérateur	<i>Operator</i>
Procédure de mesure	<i>Procedure reference</i>
Haso	<i>Haso serial</i>
LIP	<i>LIP serial</i>
Objectif(s)	<i>Adaptation lens</i>
Miroir	<i>Autocol mirror ref</i>

Client	<i>Customer</i>
Type d'optique	<i>Optic type</i>
Fabricant	<i>Manufacturer</i>
Nom/modèle	<i>Name/Model</i>
S/N	<i>Serial</i>

Longueur d'onde	<i>Wavelength used</i>
473	<i>Blue, can be 445nm</i>
543	<i>Green</i>
635	<i>Red</i>
805	<i>IR</i>

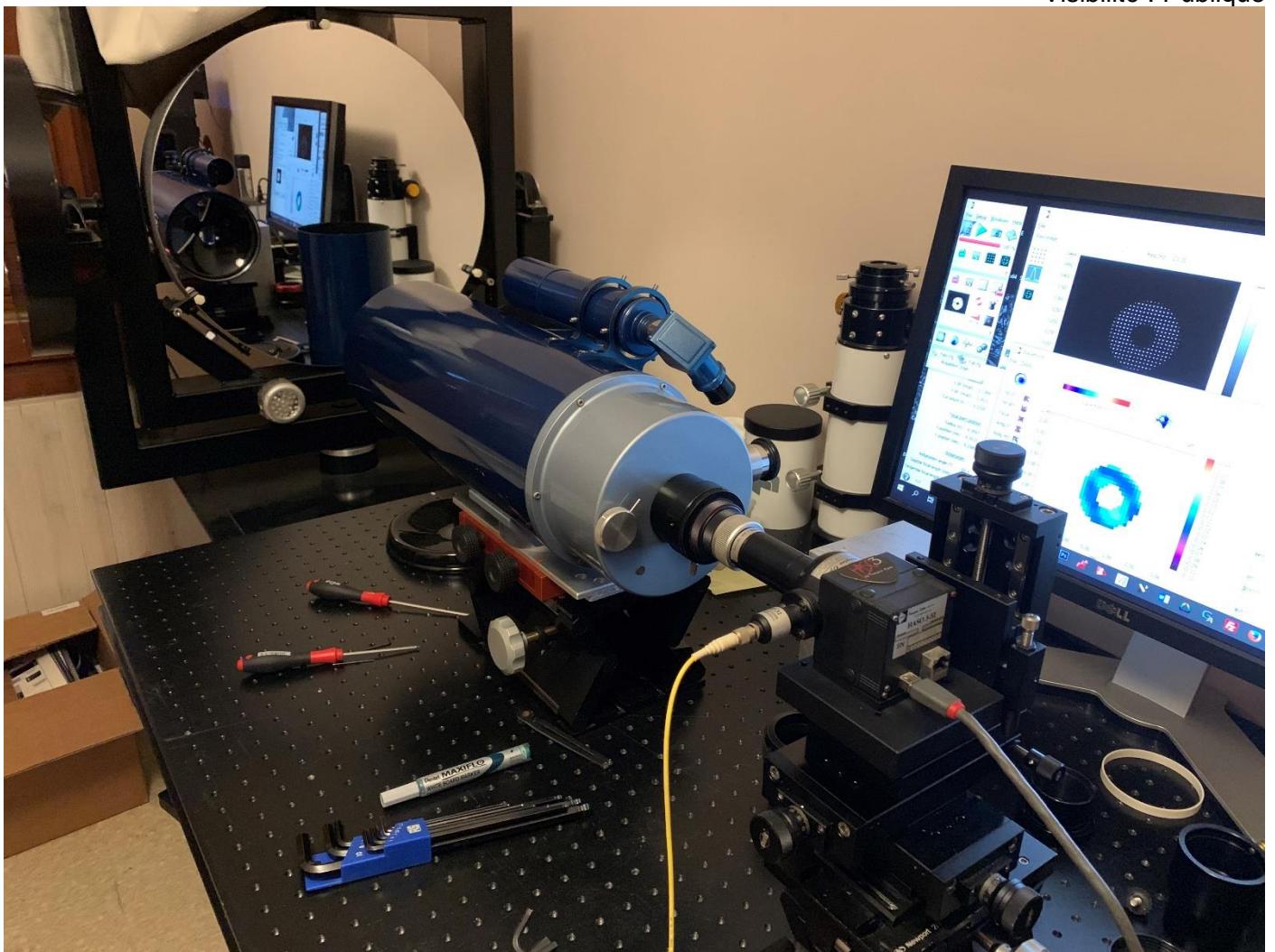
Termes d'aberration pris en compte dans les résultats <i>Aberration term (Zernike) used for the results</i>	
Tilt X	
Tilt Y	
Focus	
Astig 0°	
Astig 45°	
Coma 0°	
Coma 90°	
Sphérique <i>Spherical aberration</i>	

Incertitude PTV	<i>Uncertainty PTV</i>
Incertitude RMS	<i>Uncertainty RMS</i>
Interpolation	<i>μlens interpolation</i>
Mode	<i>Modal (Zernike) or Zonal mode</i>
référence	<i>Referenced measurement</i>
Mesures moyennées	<i>Number of averaged WFE</i>
Double passage	<i>Double pass</i>
température	<i>Temperature</i>
Sous pupilles	<i>Pupil size</i>
Conjugaison de pupille	<i>Has pupil conjugaison on the μlens array</i>

Essais réalisés <i>Measurement description</i>	
Centrage sur l'axe <sup>(1)</sup>	<i>On Axis centering type</i>
Mesure sur l'axe	<i>On axis measurement</i>
Mesure chromatisme	<i>Chromatism</i>
Mesure sur mécanique	<i>With OTA</i>
Alignement optique (« collimation »)	<i>Optical alignment</i>
Mesure dans le champ	<i>Field performances</i>
Courbure de champ	<i>Field curvature</i>
Système correcteur	<i>Additional corrector</i>
Conjugaison	<i>Conjugaison type</i>

## Sommaire

1	Données théoriques / <i>Theoretical data</i> .....	5
2	Informations spécifique à ces mesures.....	5
3	Mesures sur l'axe pleine pupille / <i>On axis measurement BF 160mm</i> .....	6
3.1	Mesure sur l'axe à 635nm avant alignement de l'orientation du ménisque / <i>On axis at 635nm before meniscus orientation alignment</i> .....	6
3.1.1	Front d'onde / <i>WFE</i> .....	6
3.2	Mesure sur l'axe à 635nm après rotation du ménisque de 170° / <i>On axis at 635nm after 170° meniscus rotation</i> .....	7
3.2.1	Front d'onde / <i>WFE</i> .....	7
3.2.2	WFE au meilleur foyer hors astigmatism/ <i>WFE at the best focus w/o 3rd order astigmatism</i> ..8	8
3.2.3	PSF .....	9
3.2.4	MTF .....	9
3.2.5	Décomposition de Zernike / <i>Zernike polynomial breakdown</i> .....	10
3.3	Mesure sur l'axe à 543 / <i>On axis at 543nm</i> .....	11
3.3.1	Front d'onde / <i>WFE</i> .....	11
3.3.2	WFE au meilleur foyer sans astigmatisme/ <i>WFE at the best focus w/o 3rd order astigmatism</i> ..12	12
3.3.3	Décomposition de Zernike / <i>Zernike polynomial breakdown</i> .....	12
3.4	Mesure sur l'axe à 473nm // <i>On axis at 473nm</i> .....	14
3.4.1	Front d'onde / <i>WFE</i> .....	14
3.4.2	WFE au meilleur foyer sans astigmatisme/ <i>WFE at the best focus w/o 3rd order astigmatism</i> ..15	15
3.4.3	Décomposition de Zernike / <i>Zernike polynomial breakdown</i> .....	15
3.5	Front d'onde Résiduel (mamelonnage) / <i>Residual wavefront (ripple)</i> .....	17
3.6	Chromatisme / <i>Chromatism aberration</i> .....	18
3.6.1	Décalage des meilleurs foci sur l'axe / <i>Best foci shift on axis</i> .....	18
3.6.2	Sphérochromatisme / <i>Spherochromatism</i> .....	19
3.6.3	Aberration sphérique en fonction de la longueur d'onde / <i>Spherical aberration vs wavelength</i> ..21	21
	<i>Fin du document</i> .....	22



## 1 Données théoriques / Theoretical data

*Lens data (FL, aperture, F/D) Theoretical PSF size and MTF cut-off versus wavelength.*

Focale : 2250. Pupille : 150.

Nombre d'ouverture : 15

Diamètre théorique de la tâche de diffraction :

Focale	2250
Diamètre	150
Longueur d'onde	Taille PSF $\mu\text{m}$
635	23,24
543	19,87
473	17,31

Fréquences théoriques de coupure de la fonction de transfert de modulation (FTM) en cycles/mm

*Theoretical MTF cut-off frequency versus the wavelength.*

Focale	2250
Diamètre	150
Longueur d'onde	Coupure
635	104,99
543	122,77
473	140,94

## 2 Informations spécifique à ces mesures

Les mesures sont faites au meilleur foyer par minimisation de l'erreur de front d'onde PTV. La précision de mesure sur l'axe Z est de 10 $\mu\text{m}$ .

**Objectif des mesures de front d'onde :** Ces mesures correspondent à la [mesure de la forme globale du front d'onde issu du système](#). Il s'agit de la mesure la plus importante en termes de résolution optique.

Cette mesure donne les valeurs d'erreur sur le front d'onde Peak To Valley (PTV) et moyennée (RMS). Un instrument est considéré comme étant limité par la diffraction pour la valeur d'erreur PTV de 135nm. Néanmoins il faut prendre en compte le diamètre et l'ouverture relative de l'instrument : plus l'instrument est grand et ouvert et plus il est difficile d'avoir une erreur faible.

Ces mesures peuvent être effectuées sur l'axe et dans le champ et à différentes longueurs d'onde.

La mesure du front d'onde permet de déduire la [PSF](#) (tâche de diffraction), la [fonction de transfert de modulation](#) (contraste en fonction des fréquences spatiales) et le [ratio de Strehl](#).

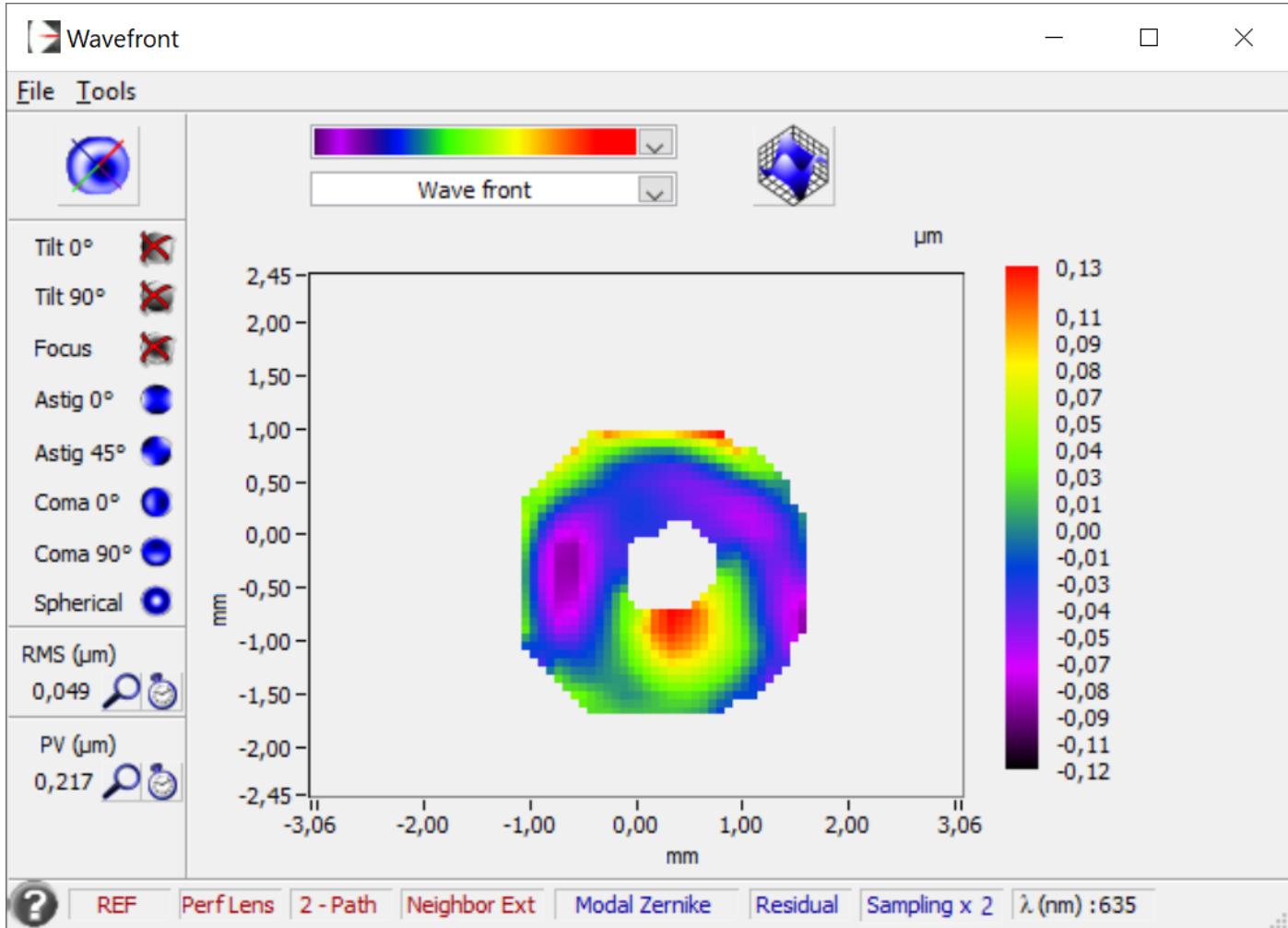
**Wavefront measurement objectives :** The [Wavefront Error \(WFE\)](#) shows the wavefront phase map issued from the system aperture with a color code. The colors show the local wavefront phase variation in nanometers. A perfect system should show a zero value over the whole surface, meaning there is no phase error when the light reaches the focus (for an imaging device). The maximum range on the global wavefront is the [Peak To Valley error \(PTV\)](#). This PTV is done on 99% of the surface to avoid a global PTV increase because of a very local defect. The averaged error by Root Mean Square is the RMS error. [The Rayleigh "diffraction limit" quality metric is a quarter of the wavelength](#). For example in the green (543nm) the PTV error should be lower than  $543/4 = 135\text{nm}$  PTV.

The WFE map can provide the Point [Spread Function \(diffraction spot\)](#), the [Modulation \(Optical\) Transfer Function \(MTF/OTF\)](#) and the [Strehl ratio](#) among other information.

### 3 Mesures sur l'axe pleine pupille / On axis measurement BF 160mm

#### 3.1 Mesure sur l'axe à 635nm avant alignement de l'orientation du ménisque / On axis at 635nm before meniscus orientation alignment

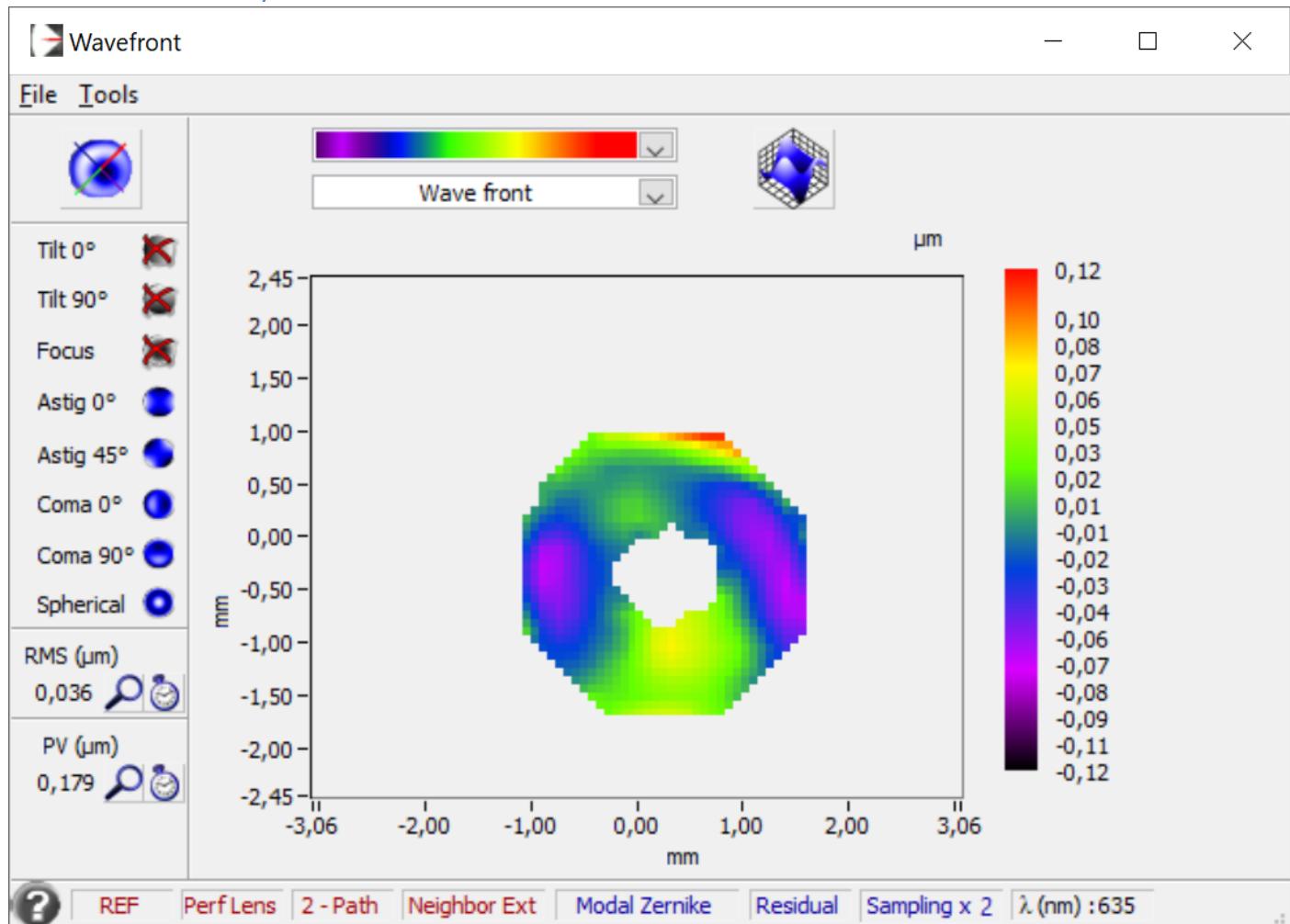
##### 3.1.1 Front d'onde / WFE



Ratio de Strehl / Strehl Ratio : 0,792

### 3.2 Mesure sur l'axe à 635nm après rotation du ménisque de 170° / On axis at 635nm after 170° meniscus rotation

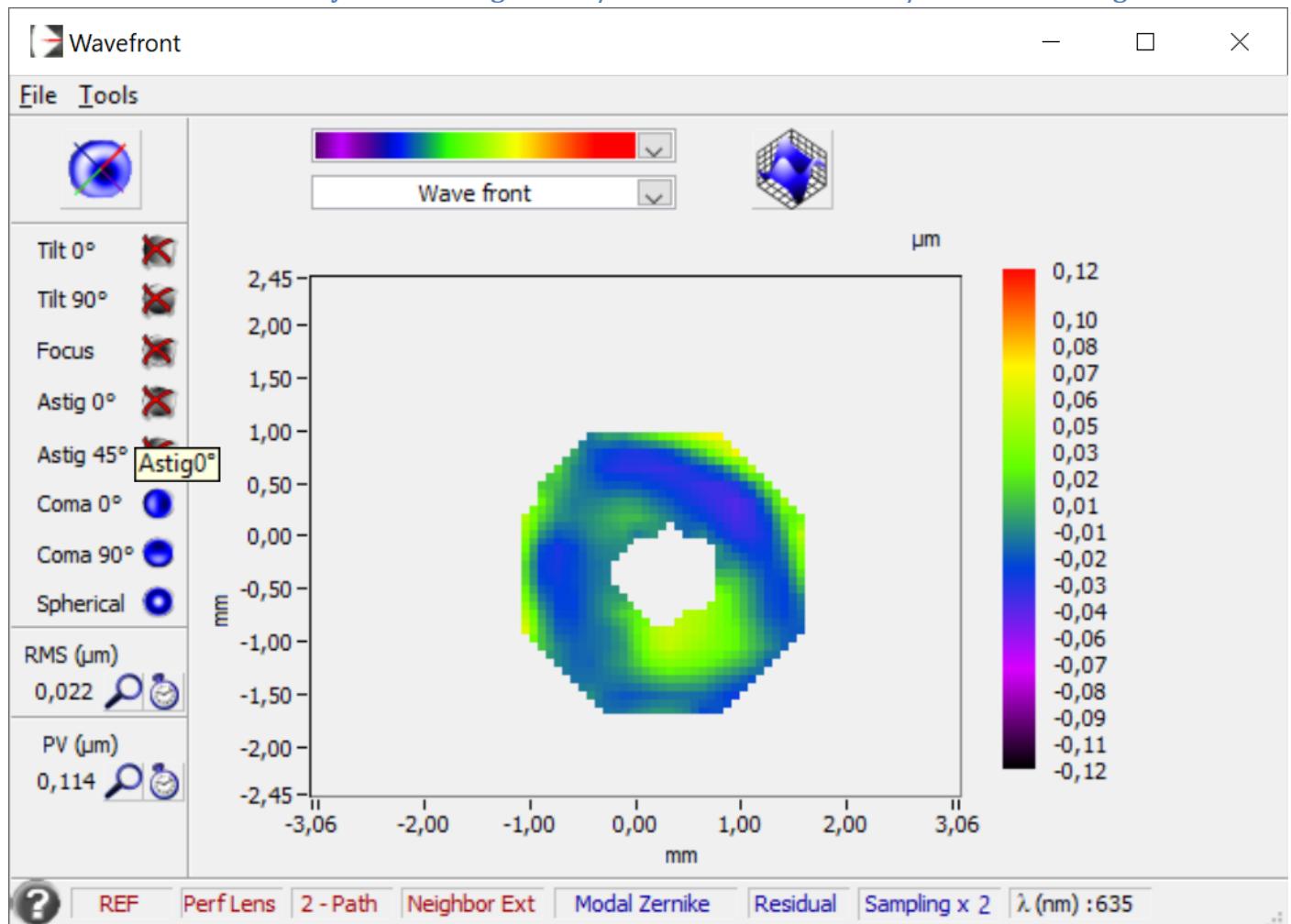
#### 3.2.1 Front d'onde / WFE



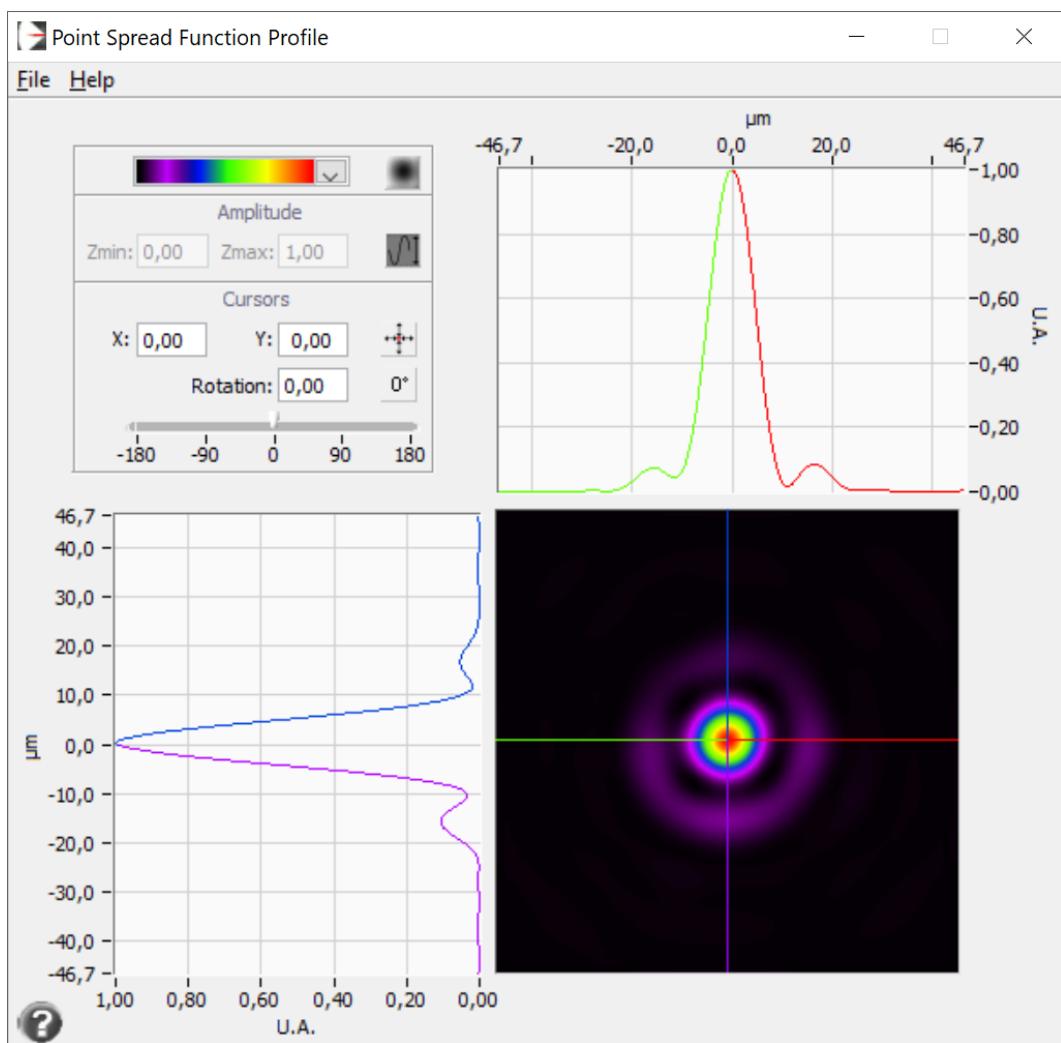
Ratio de Strehl / Strehl Ratio : 0,883

Note : the main remaining aberration is astigmatism. A star test in a vertical aiming position shown no residual astigmatism, so we can assume that this astigmatism is due to a mirror sag, or the primary shifting. Therefore it is justified to consider the WFE without astigmatism as below.

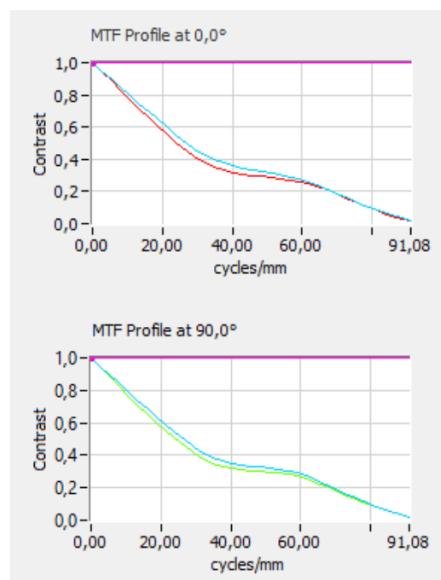
### 3.2.2 WFE au meilleur foyer hors astigmatism / WFE at the best focus w/o 3rd order astigmatism



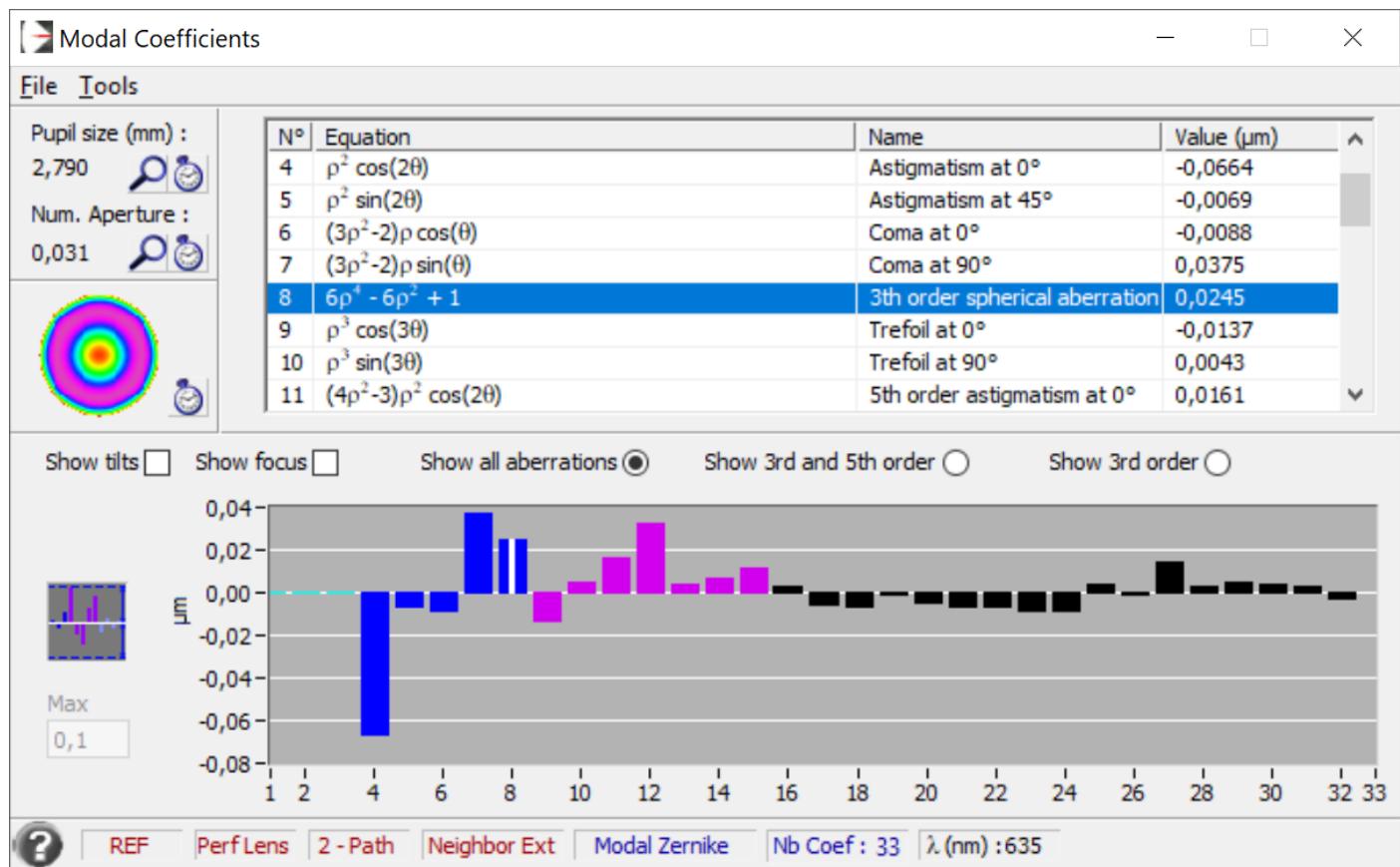
### 3.2.3 PSF



### 3.2.4 MTF

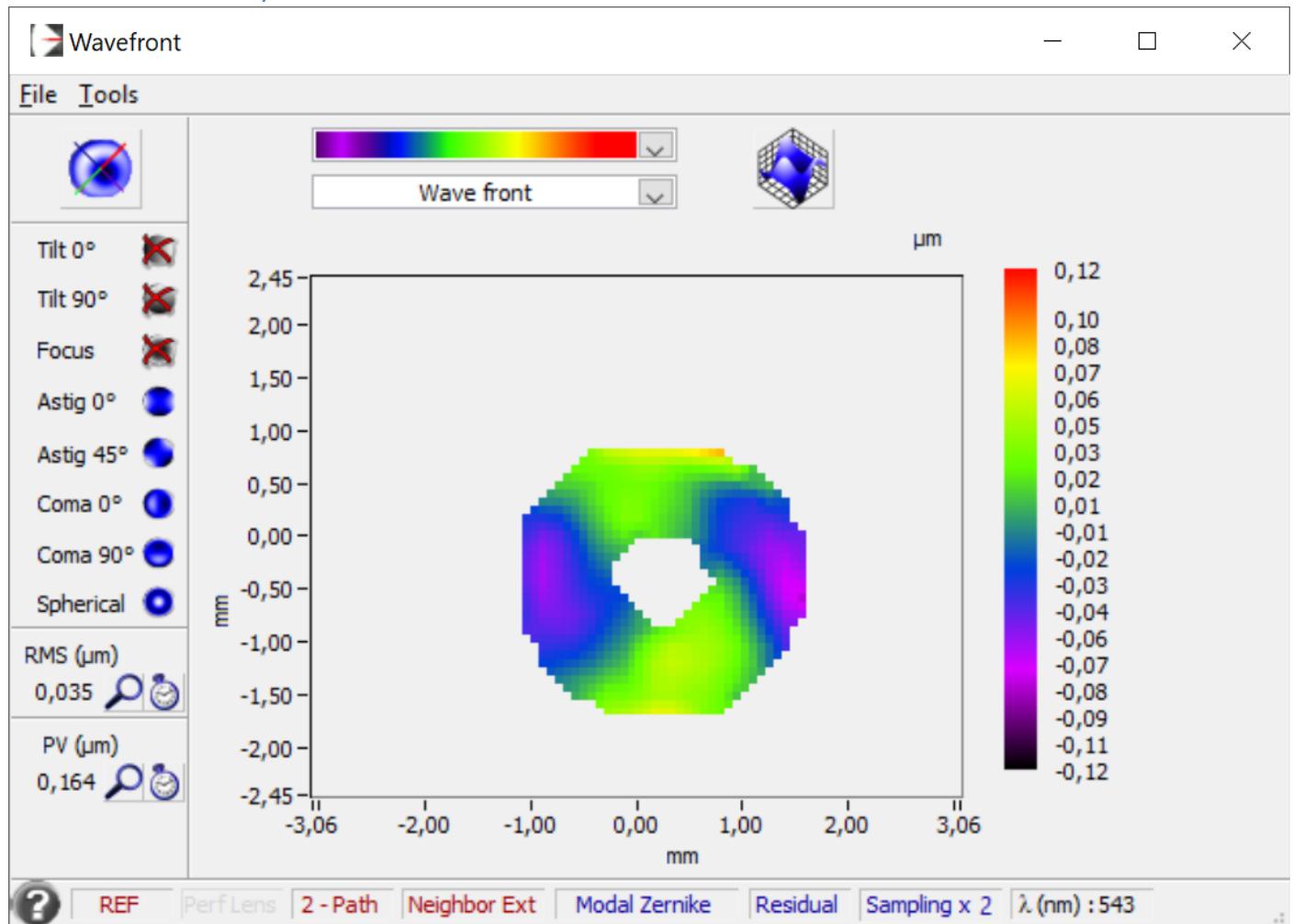


### 3.2.5 Décomposition de Zernike / Zernike polynomial breakdown



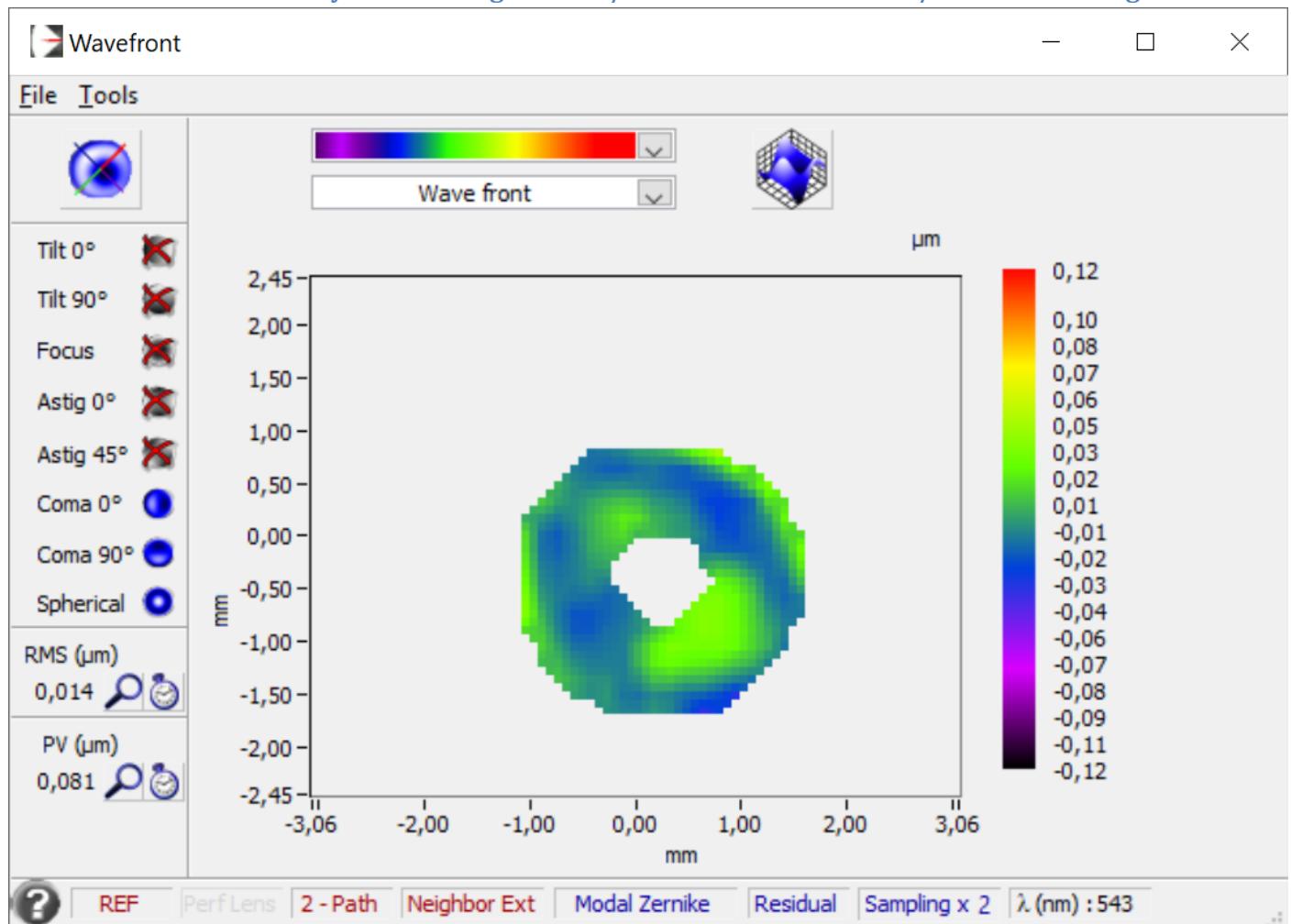
### 3.3 Mesure sur l'axe à 543 / On axis at 543nm

#### 3.3.1 Front d'onde / WFE

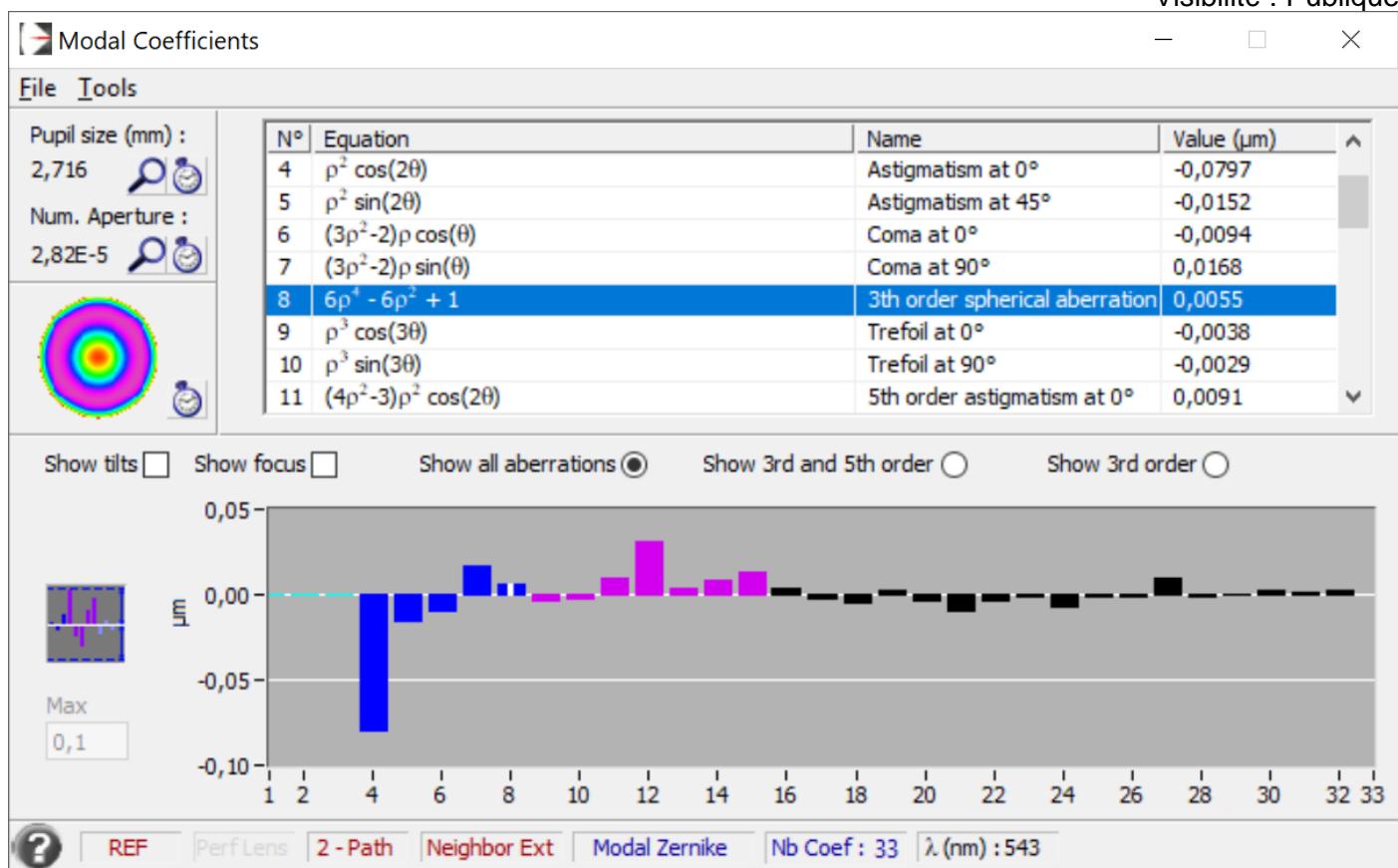


Ratio de Strehl / Strehl Ratio : 0,848

### 3.3.2 WFE au meilleur foyer sans astigmatisme / WFE at the best focus w/o 3rd order astigmatism

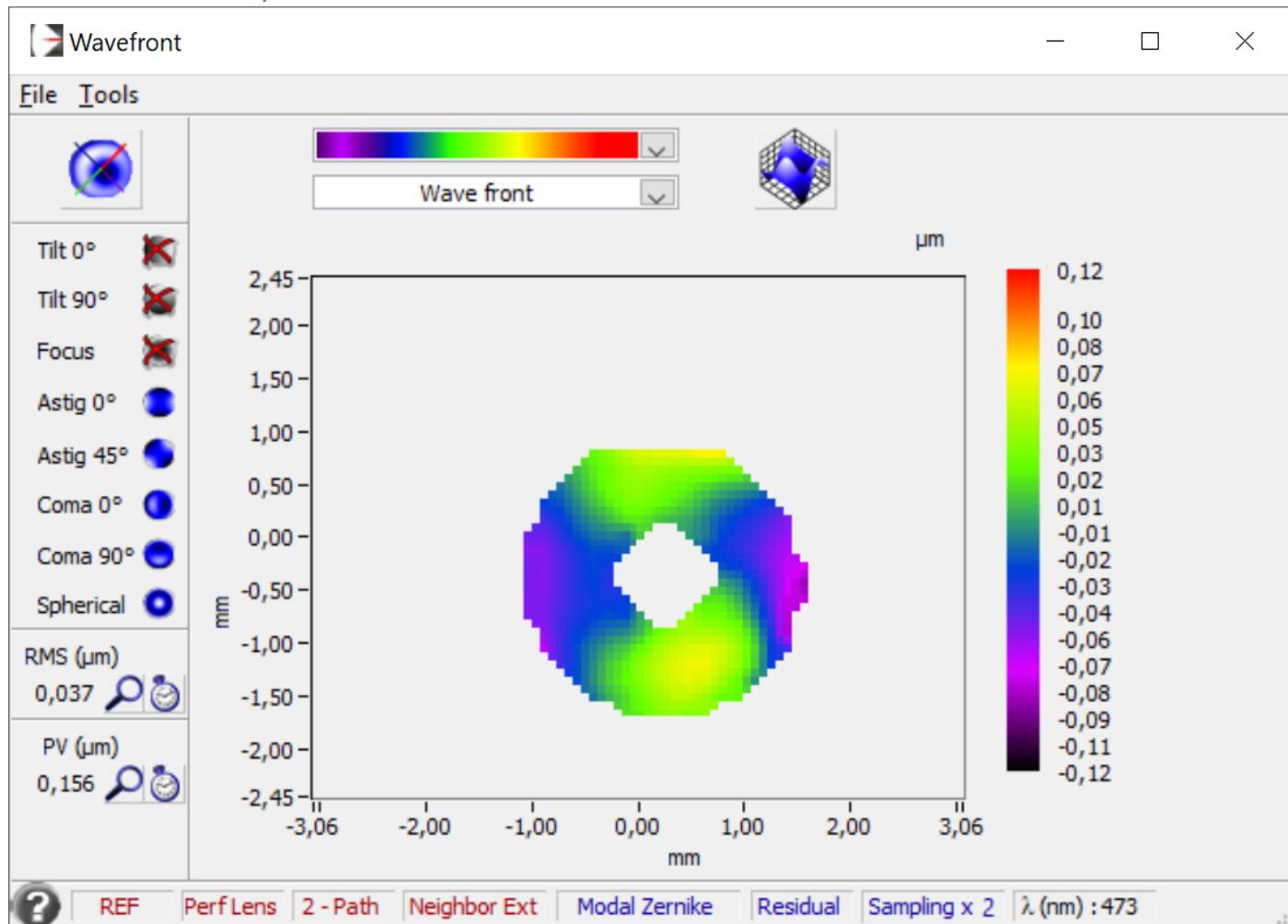


### 3.3.3 Décomposition de Zernike / Zernike polynomial breakdown



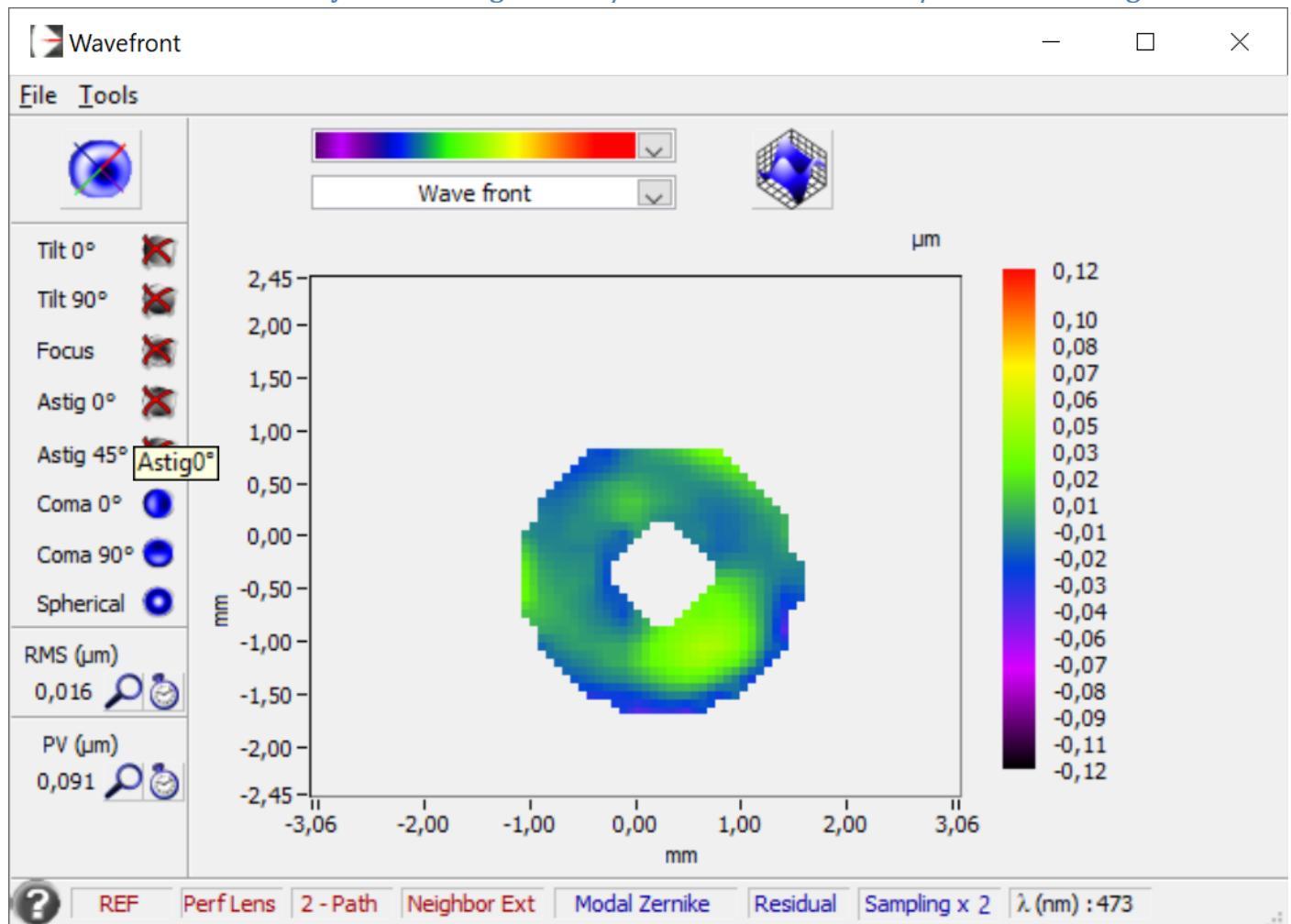
### 3.4 Mesure sur l'axe à 473nm // On axis at 473nm

#### 3.4.1 Front d'onde / WFE

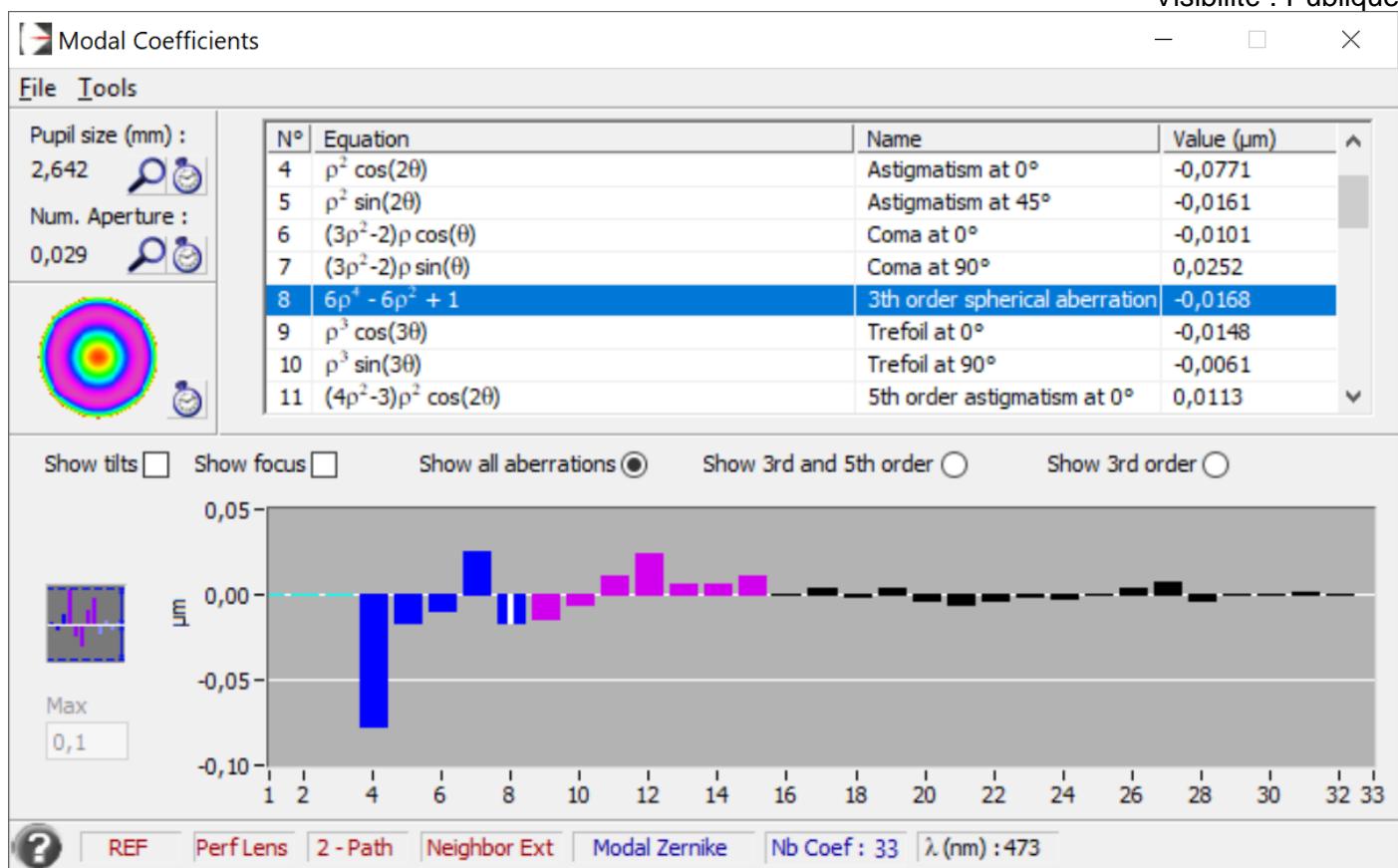


Ratio de Strehl / Strehl Ratio : 0,784

### 3.4.2 WFE au meilleur foyer sans astigmatisme / WFE at the best focus w/o 3rd order astigmatism



### 3.4.3 Décomposition de Zernike / Zernike polynomial breakdown

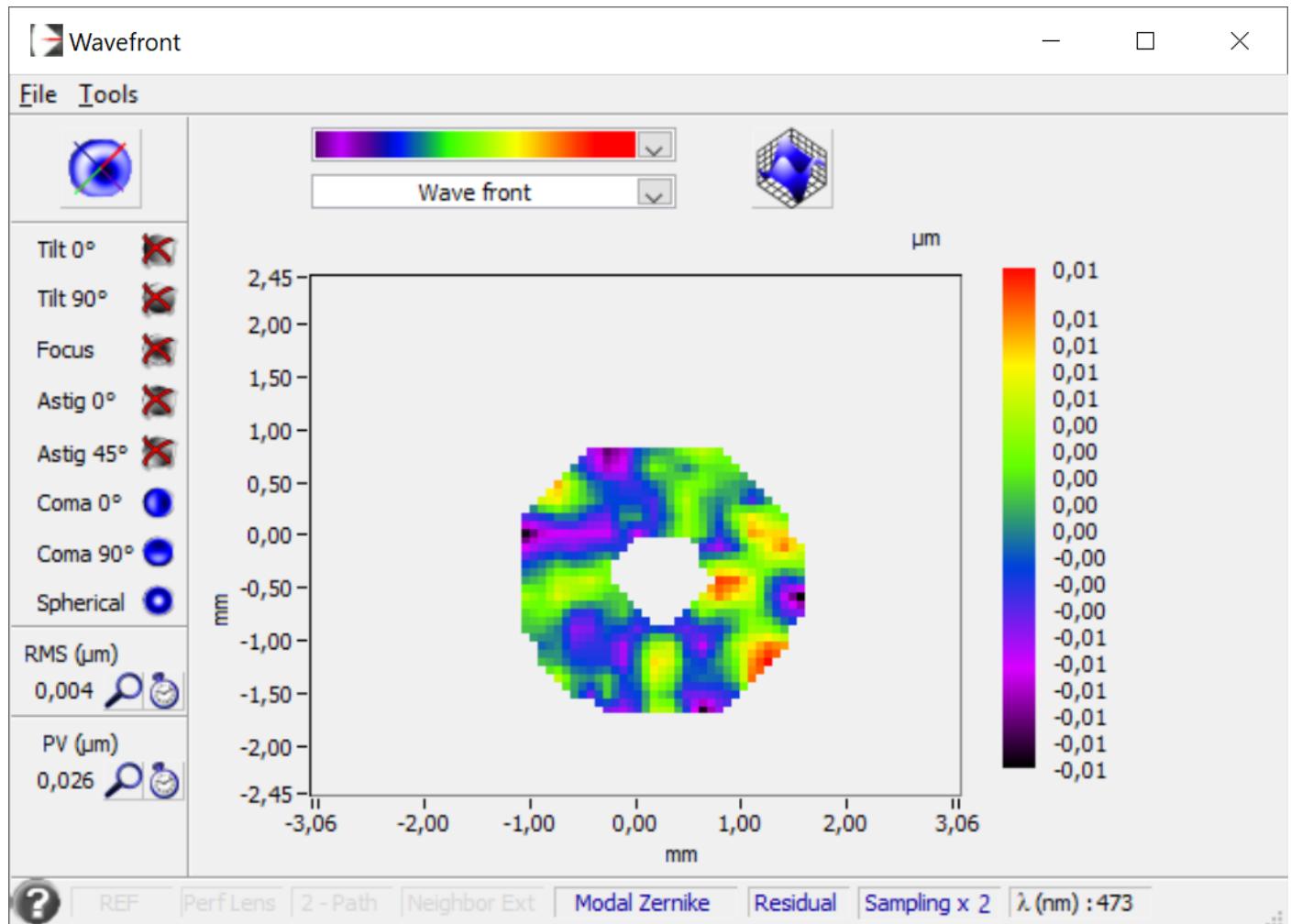


### 3.5 Front d'onde Résiduel (mamelonnage) / Residual waveform (ripple)

**Objectif :** Cette mesure permet de caractériser les défauts de quelques cm de diamètres. Il s'agit de ce qui est couramment appelé le mamelonnage.

Pour cette mesure on ignore les 32 premiers termes d'aberration de Zernike qui ont été pris en compte lors de la mesure du paragraphe 2 pour ne laisser que les défauts recherchés ici.

**Objective :** This waveform error map shows the residual aberrations after the 32 first Zernike terms have been removed. That shows surface errors that are localized or with a very high order such as polishing circular patterns.



### 3.6 Chromatisme / *Chromatism aberration*

**Objectif :** La mesure du chromatisme concerne tous les systèmes optiques comportant des dioptres. Un élément transmissif a un comportement variable en fonction de la longueur d'onde.

Les deux mesures importantes sont le chromatisme (décalage du foyer en fonction de la longueur d'onde) et le sphérochromatisme. Ces mesures permettent aussi de déterminer pour quelle longueur d'onde le système est optimisé, idéalement entre 500 et 550nm (vert).

**Objective :** Chromatism impacts partially or totally transmissive systems. Transmissive components have a behavior that changes depending on the wavelength in terms of focal length and spherical aberration. Spherochromatism graph determines the wavelength the system has been optimized for if any.

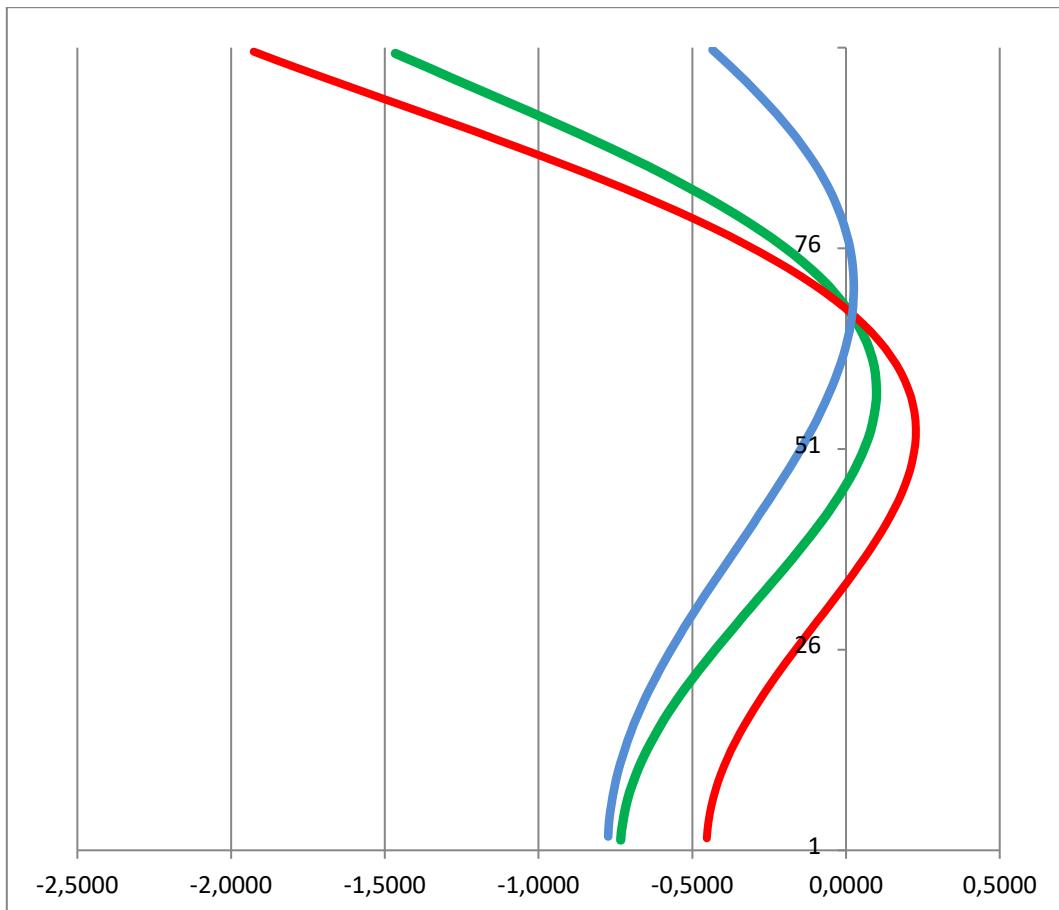
#### 3.6.1 Décalage des meilleurs foci sur l'axe / *Best foci shift on axis*

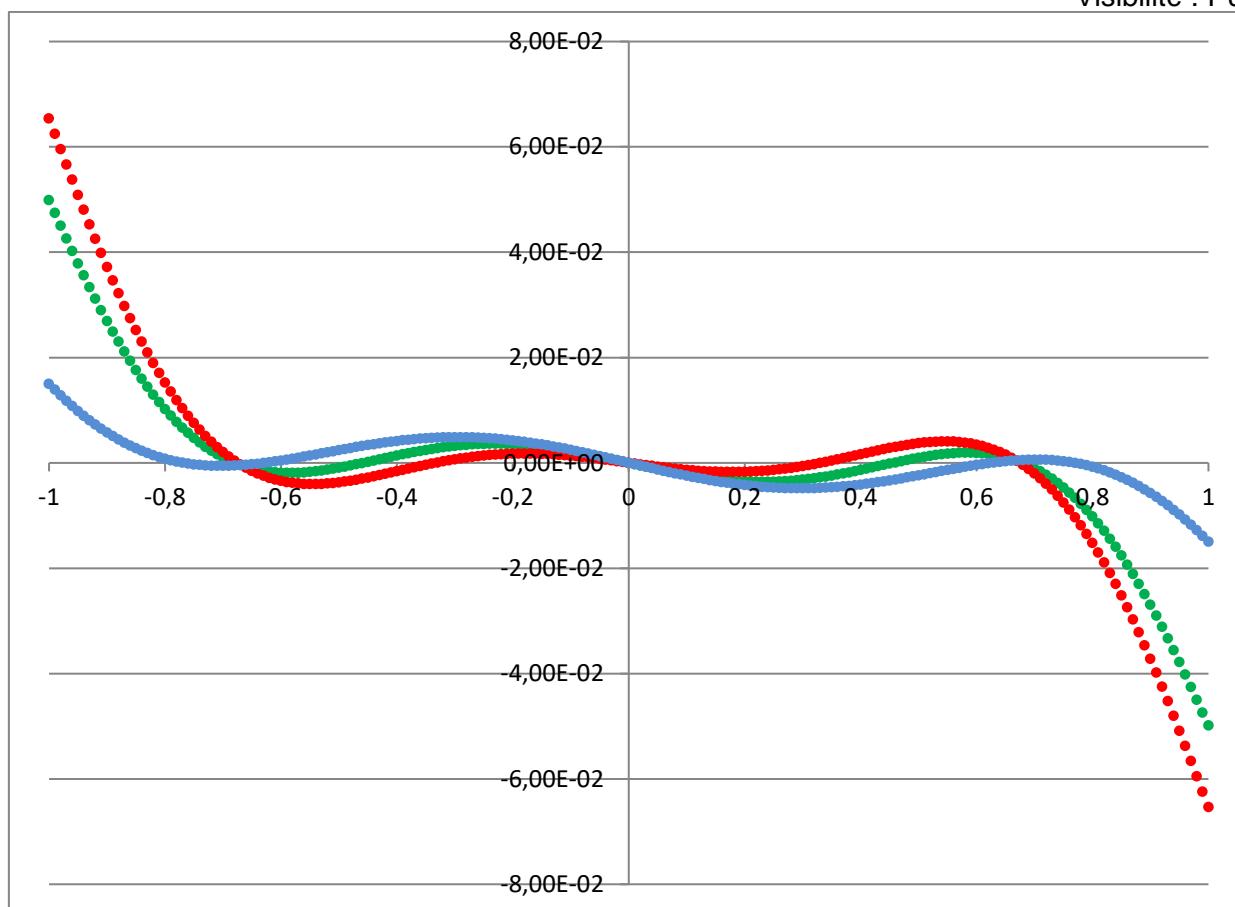
En µm	
Rouge 635 nm	0
Vert 543 nm	-310
Bleu 473 nm	-900

### 3.6.2 Sphérochromatisme / Spherochromatism

Base de calcul : aberration sphérique 3eme, 5eme et 7eme ordre.

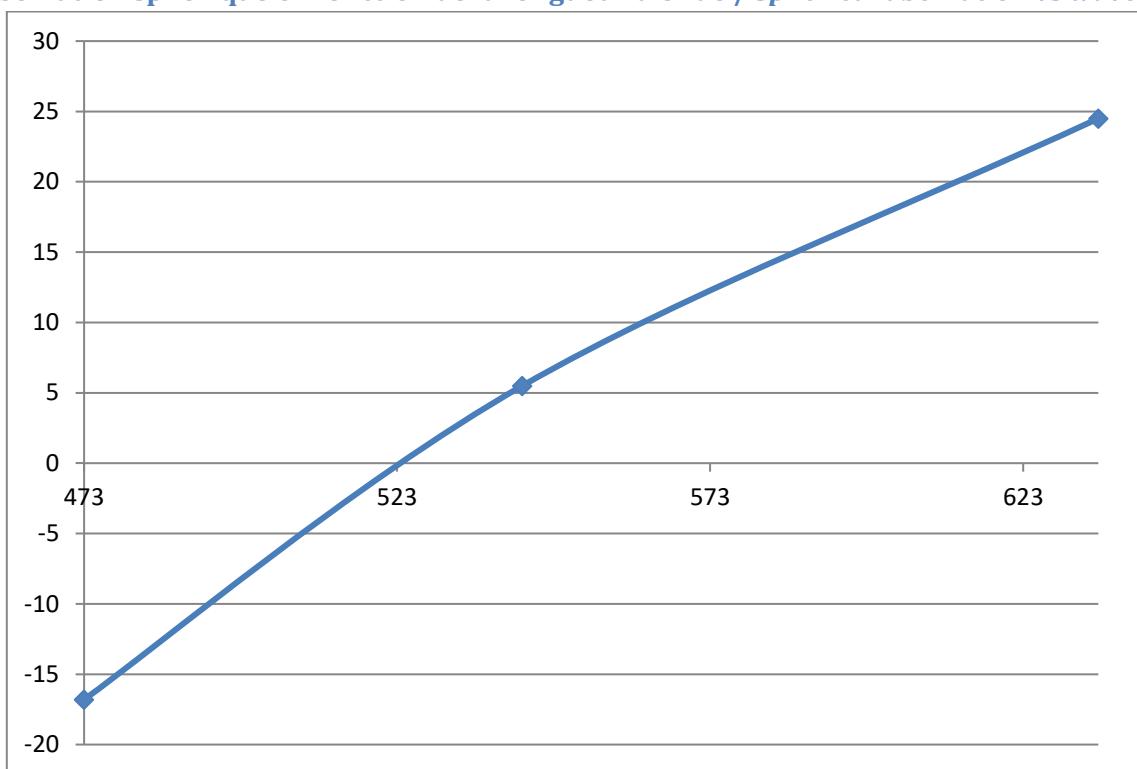
*Calculated on the 3rd, 5th and 7th spherical aberration orders.*





*Chromatisme transverse, Unités mm  
Transversal chromatism, unit mm*

### 3.6.3 Aberration sphérique en fonction de la longueur d'onde / Spherical aberration vs wavelength



Aberration sphérique de 3eme ordre en nm en fonction de la longueur d'onde en nm  
3rd order spherical aberration versus wavelength, all in nm

*Fin du document.*