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

Rapport de mesure / Optical measurement report

Référence	2015-47001
Date	18/11/2015
Opérateur	FJ
Procédure de mesure	RF-DP
Haso	HA-4333
LIP	LI-1028
Objectif(s)	MOD32-6.4
Miroir	RS-530

Client	xxx
Type d'optique	Triplet Apochromat
Fabricant	Takahashi
Nom/modèle	TSA102
S/N	08xxx

Longueur d'onde
473
543
635
805

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

Incertitude PTV	9,86 nm
Incertitude RMS	0,6 nm
Interpolation	X2
Mode	Zonal + modal
référence	Oui
Mesures moyennées	200
Double passage	Oui
température	21°
Sous pupilles	-
Conjugaison de pupille	Oui

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

[1] : RR rétroréflexion laser HENE, RA réduction des aberrations de champ.

© 2015 Airylab SARL, 34 rue Jean Baptiste Malon, 04800 Gréoux les Bains. +33 492788172
Les informations contenues dans ce rapport appartiennent à Airylab. Reproduction soumise à autorisation.
Information and graphics in this report belongs to Airylab. Reproduction requires an a written authorization.

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

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

Longueur d'onde	*Wavelength used*
473	*Blue, can be 445nm*
543	*Green*
635	*Red*
805	*IR*

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

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

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

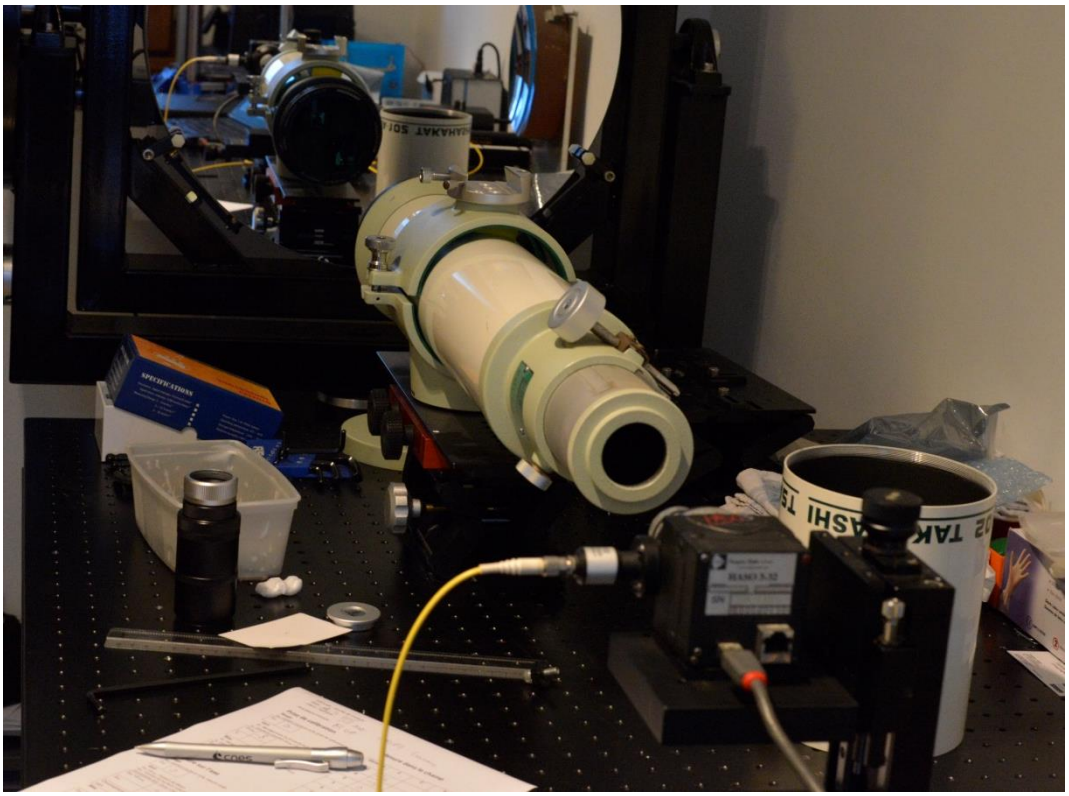
© 2015 Airylab SARL, 34 rue Jean Baptiste Malon, 04800 Gréoux les Bains. +33 492788172
Les informations contenues dans ce rapport appartiennent à Airylab. Reproduction soumise à autorisation.
Information and graphics in this report belongs to Airylab. Reproduction requires an a written authorization.

Sommaire

1 Données théoriques / *Theorical data* 5
2 Informations spécifique à ces mesures 5
3 Mesures sur l'axe pleine pupille / *On axis measurement* 6
3.1 Mesure sur l'axe à 635nm / *On axis at 635nm* 6
3.1.1 Front d'onde / *WFE* 6
3.1.2 PSF 7
3.1.3 MTF 7
3.1.4 Décomposition de Zernike / *Zernike polynomial breakdown* 8
3.2 Mesure sur l'axe à 543nm / / *On axis at 543nm* 9
3.2.1 Front d'onde / *WFE* 9
3.2.2 PSF 10
3.2.3 MTF 10
3.2.4 Décomposition de Zernike / *Zernike polynomial breakdown* 11
3.3 Mesure sur l'axe à 473nm / / *On axis at 473nm* 12
3.3.1 Front d'onde / *WFE* 12
3.3.2 PSF 13
3.3.3 MTF 13
3.3.4 Décomposition de Zernike / *Zernike polynomial breakdown* 14
3.4 Front d'onde Résiduel (mamelonnage) / *Residual wavefront (ripple)* 15
3.5 Chromatisme / *Chromatism aberration* 16
3.5.1 Décalage des meilleurs foci sur l'axe / *Best foci shift on axis* 16
3.5.2 Sphérochromatisme / *Spherochromatism* 17
3.5.3 Aberration sphérique en fonction de la longueur d'onde / *Spherical aberration vs wavelength* 18
4 Mesures sur l'axe pupille 35% / *On axis measurement 35% aperture* 19
4.1 Mesure sur l'axe à 635nm / *On axis at 635nm* 19
4.1.1 Front d'onde / *WFE* 19
4.2 Mesure sur l'axe à 543nm / / *On axis at 543nm* 20
4.2.1 Front d'onde / *WFE* 20
4.3 Mesure sur l'axe à 473nm / / *On axis at 473nm* 21
4.3.1 Front d'onde / *WFE* 21
4.4 Chromatisme / *Chromatism aberration* 22
4.4.1 Décalage des meilleurs foci sur l'axe / *Best foci shift on axis* 22
5 Mesure dans le champ à 543nm / *Field performances at 543nm* 23
5.1 Courbure de champ / *Field curvature* 23

© 2015 Airylab SARL, 34 rue Jean Baptiste Malon, 04800 Gréoux les Bains. +33 492788172
Les informations contenues dans ce rapport appartiennent à Airylab. Reproduction soumise à autorisation.
Information and graphics in this report belongs to Airylab. Reproduction requires an a written authorization.

5.2 Spot diagram à 635nm / *Spots at 635nm*.....24
Fin du document......25



© 2015 Airylab SARL, 34 rue Jean Baptiste Malon, 04800 Gréoux les Bains. +33 492788172
Les informations contenues dans ce rapport appartiennent à Airylab. Reproduction soumise à autorisation.
Information and graphics in this report belongs to Airylab. Reproduction requires an a written authorization.

1 Données théoriques / *Theorical data*

Lens data (FL, aperture, F/D) Theorical PSF size and MTF cut-off versus wavelength.
Focale : 816. Pupille : 102mm.
Nombre d'ouverture : 8
Diamètre théorique de la tâche de diffraction :

Focale	816
Diamètre	102
Longueur d'onde	Taille PSF µm
635	12,40
543	10,60
473	9,23

Fréquences théoriques de coupure de la fonction de transfert de modulation (FTM) en cycles/mm
Theorical MTF cut-off frequency versus the wavelength.

Focale	816
Diamètre	102
Longueur d'onde	Coupure
635	196,85
543	230,20
473	264,27

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 10µm.

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'agît 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 Roor 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= 135nm PTV.*

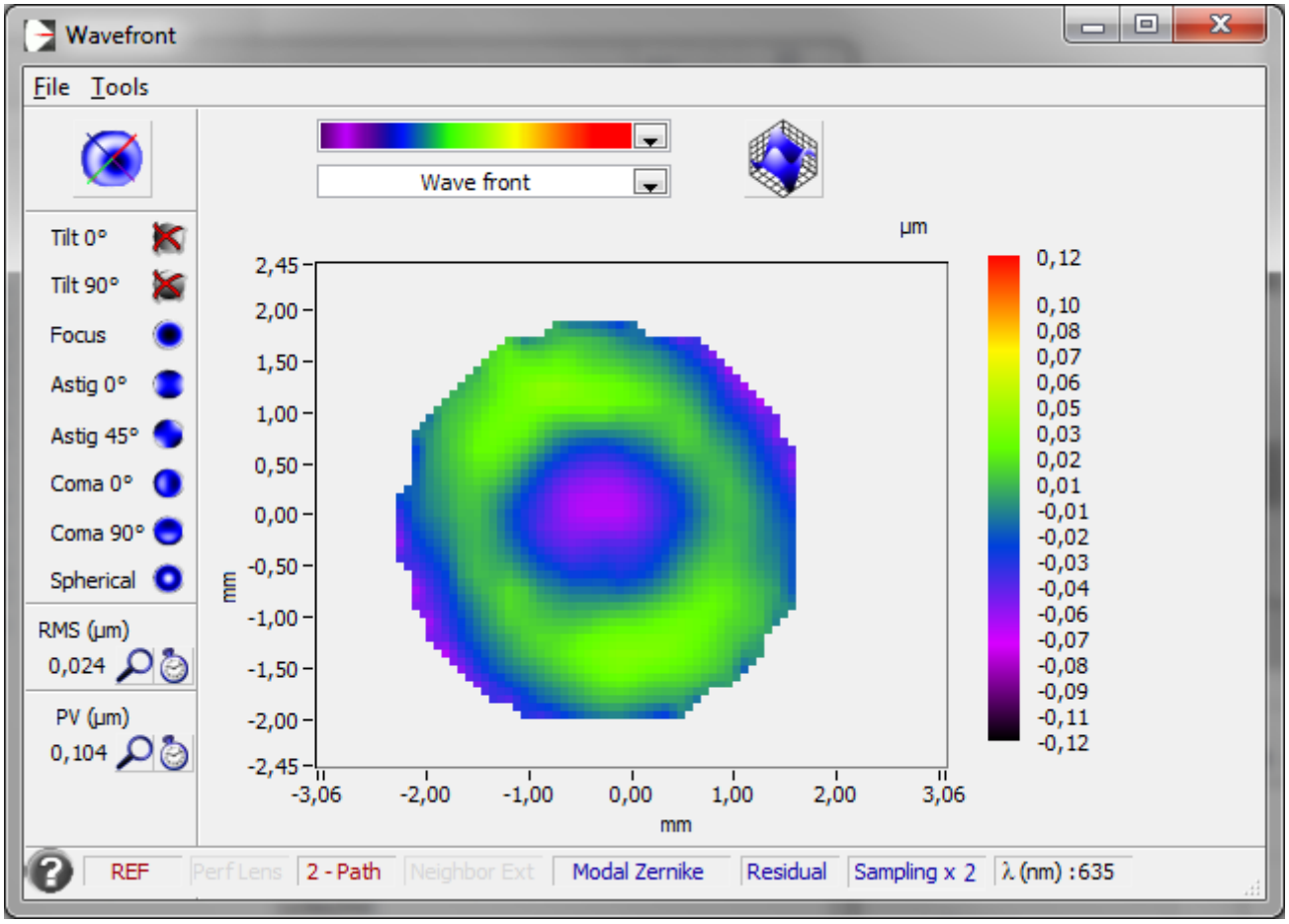
© 2015 Airylab SARL, 34 rue Jean Baptiste Malon, 04800 Gréoux les Bains. +33 492788172
Les informations contenues dans ce rapport appartiennent à Airylab. Reproduction soumise à autorisation.
Information and graphics in this report belongs to Airylab. Reproduction requires an a written authorization.

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*

3.1 Mesure sur l'axe à 635nm / *On axis at 635nm*

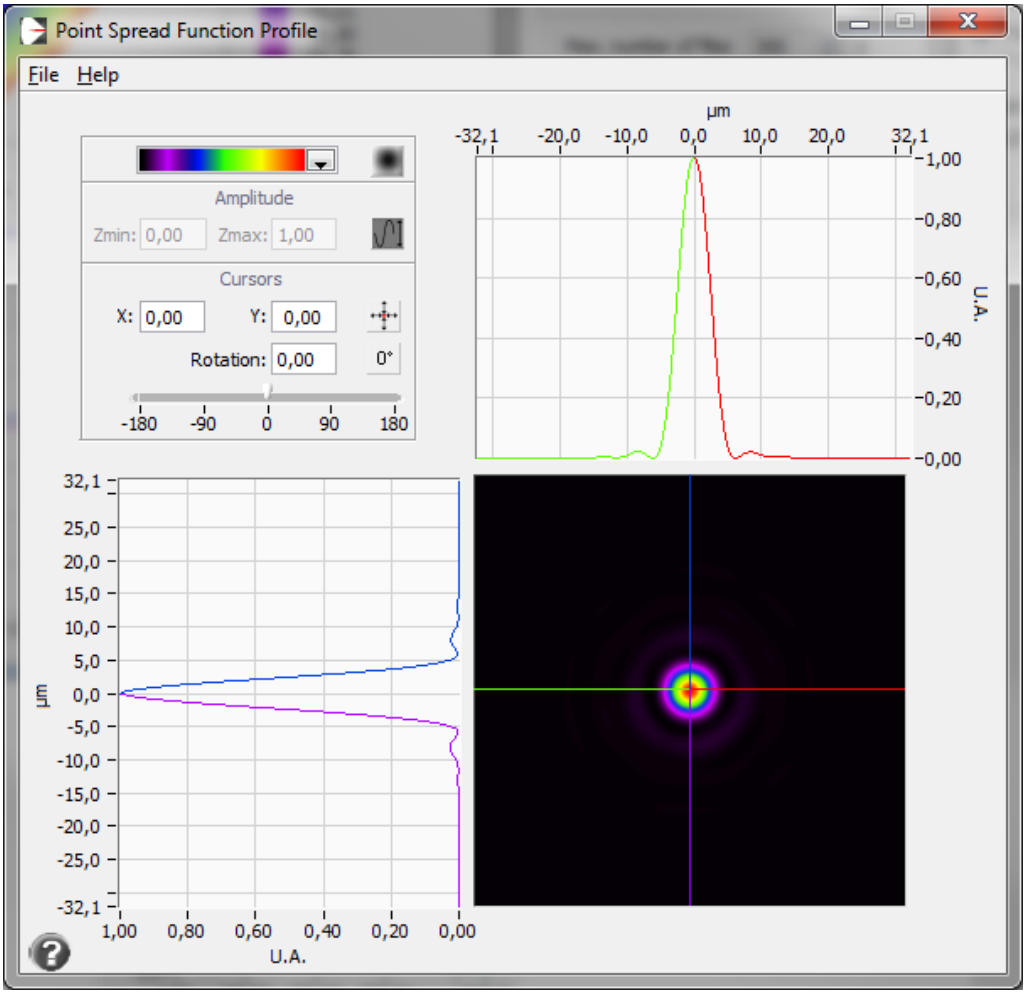
3.1.1 Front d'onde / *WFE*



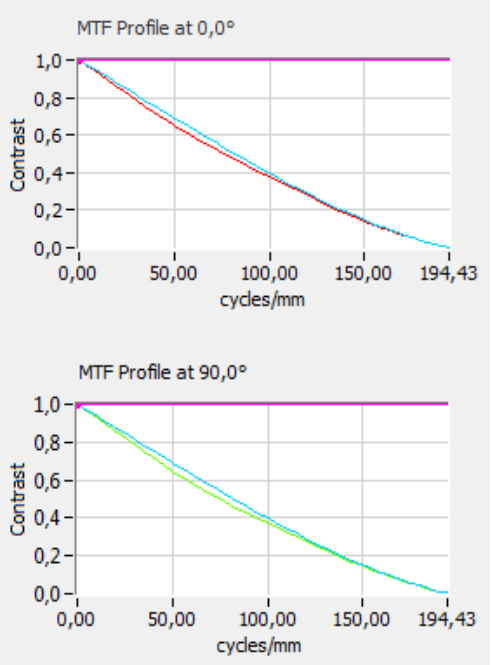
Ratio de Strehl / *Strehl Ratio* : 0,947

© 2015 Airylab SARL, 34 rue Jean Baptiste Malon, 04800 Gréoux les Bains. +33 492788172
Les informations contenues dans ce rapport appartiennent à Airylab. Reproduction soumise à autorisation.
Information and graphics in this report belongs to Airylab. Reproduction requires an a written authorization.

3.1.2 PSF

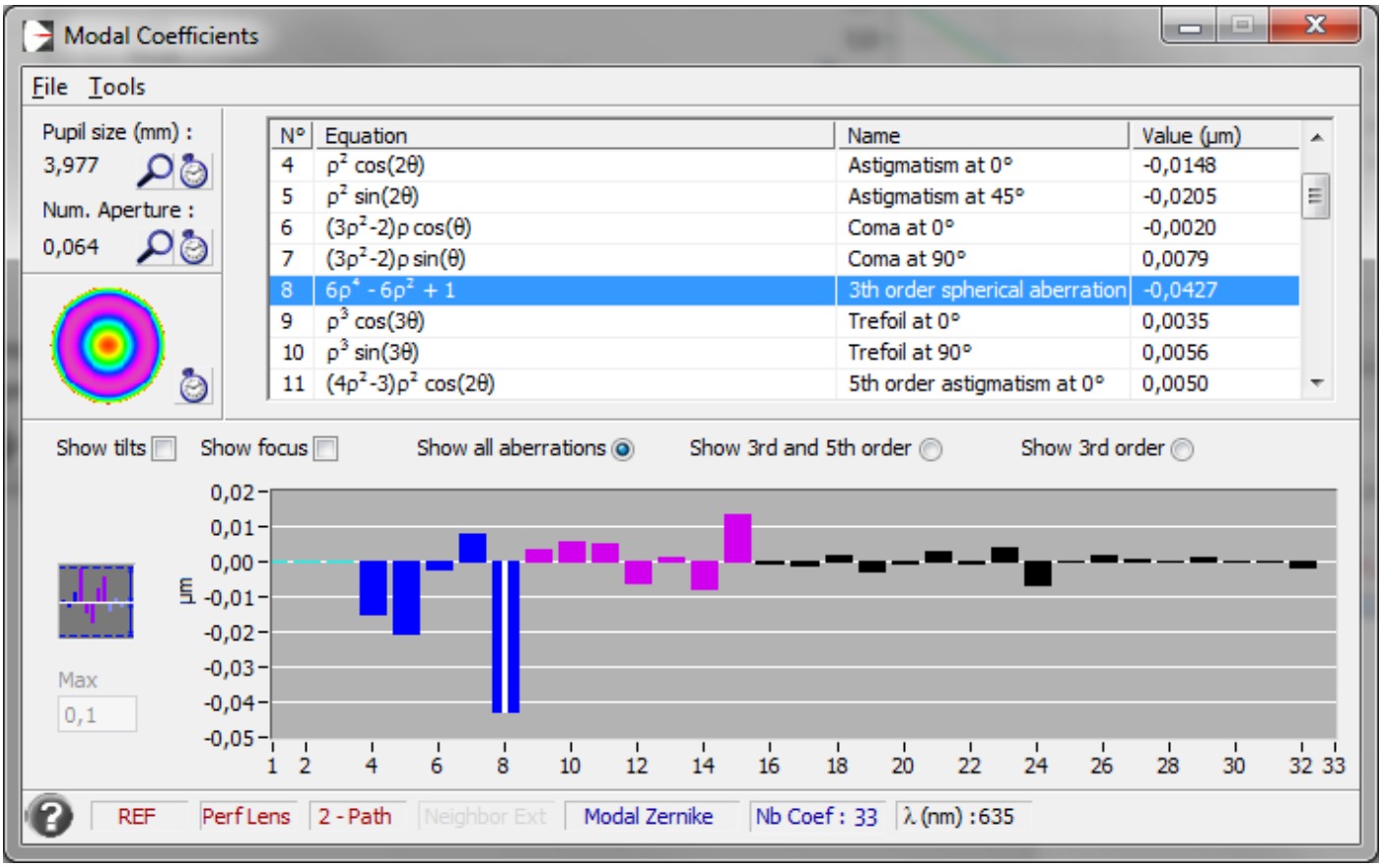


3.1.3 MTF



© 2015 Airylab SARL, 34 rue Jean Baptiste Malon, 04800 Gréoux les Bains. +33 492788172
Les informations contenues dans ce rapport appartiennent à Airylab. Reproduction soumise à autorisation.
Information and graphics in this report belongs to Airylab. Reproduction requires an a written authorization.

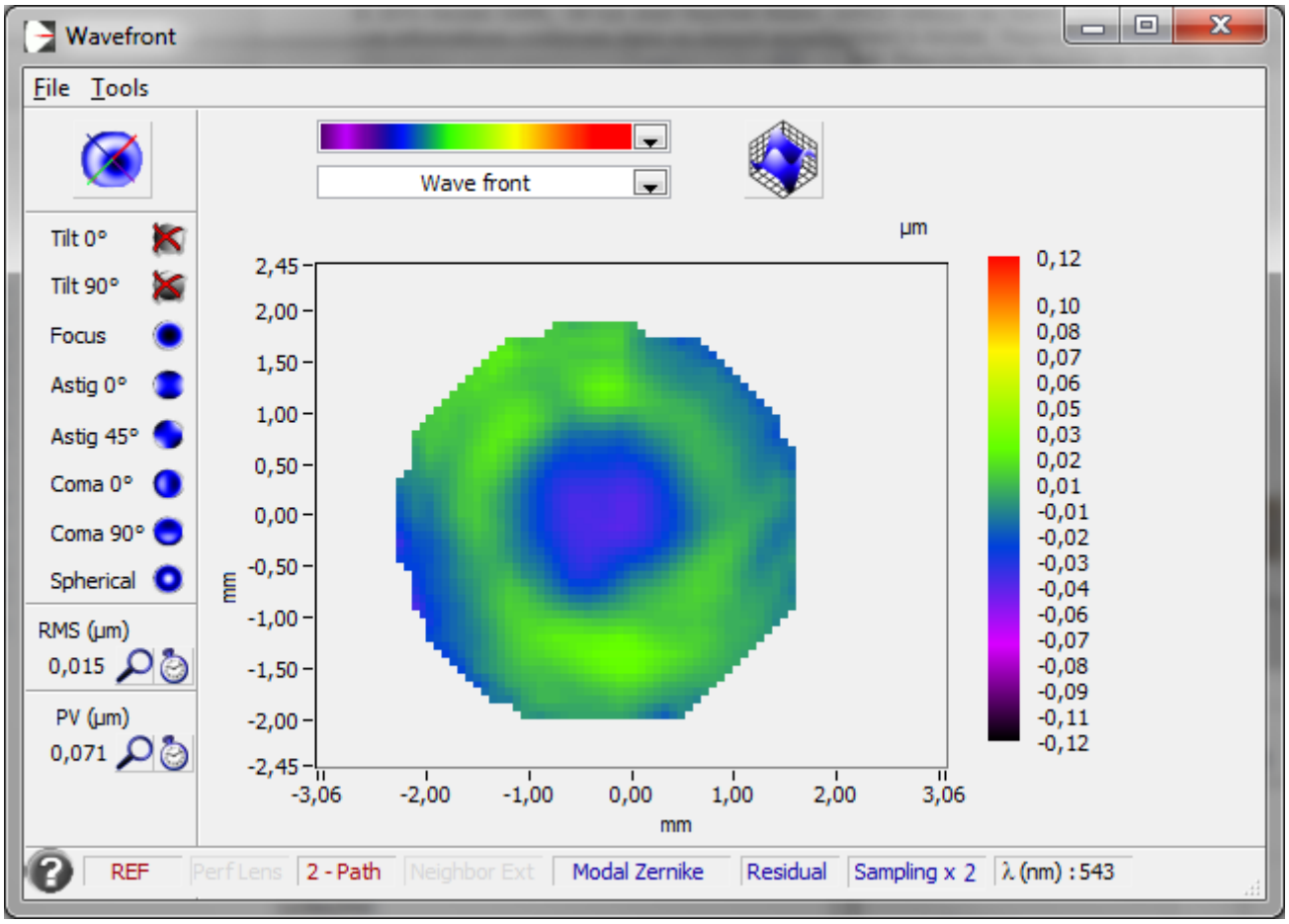
3.1.4 Décomposition de Zernike / *Zernike polynomial breakdown*



© 2015 Airylab SARL, 34 rue Jean Baptiste Malon, 04800 Gréoux les Bains. +33 492788172
Les informations contenues dans ce rapport appartiennent à Airylab. Reproduction soumise à autorisation.
Information and graphics in this report belongs to Airylab. Reproduction requires an a written authorization.

3.2 Mesure sur l'axe à 543nm / / *On axis at 543nm*

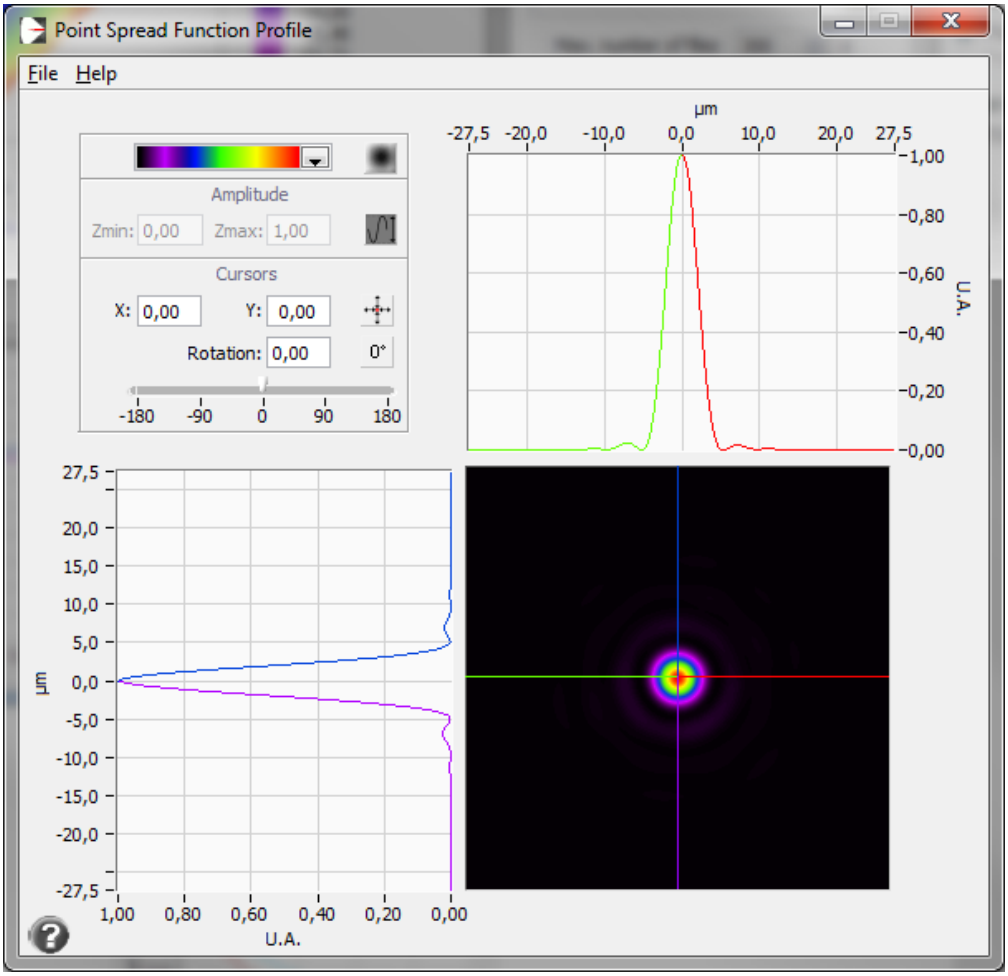
3.2.1 Front d'onde / *WFE*



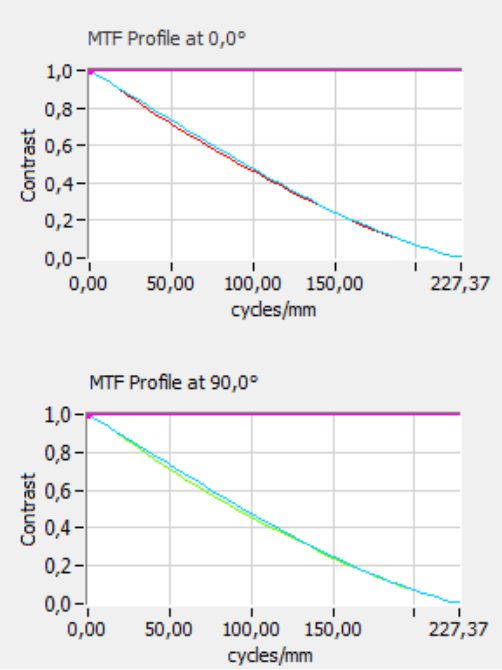
Ratio de Strehl 0,972

© 2015 Airylab SARL, 34 rue Jean Baptiste Malon, 04800 Gréoux les Bains. +33 492788172
Les informations contenues dans ce rapport appartiennent à Airylab. Reproduction soumise à autorisation.
Information and graphics in this report belongs to Airylab. Reproduction requires an a written authorization.

3.2.2 PSF

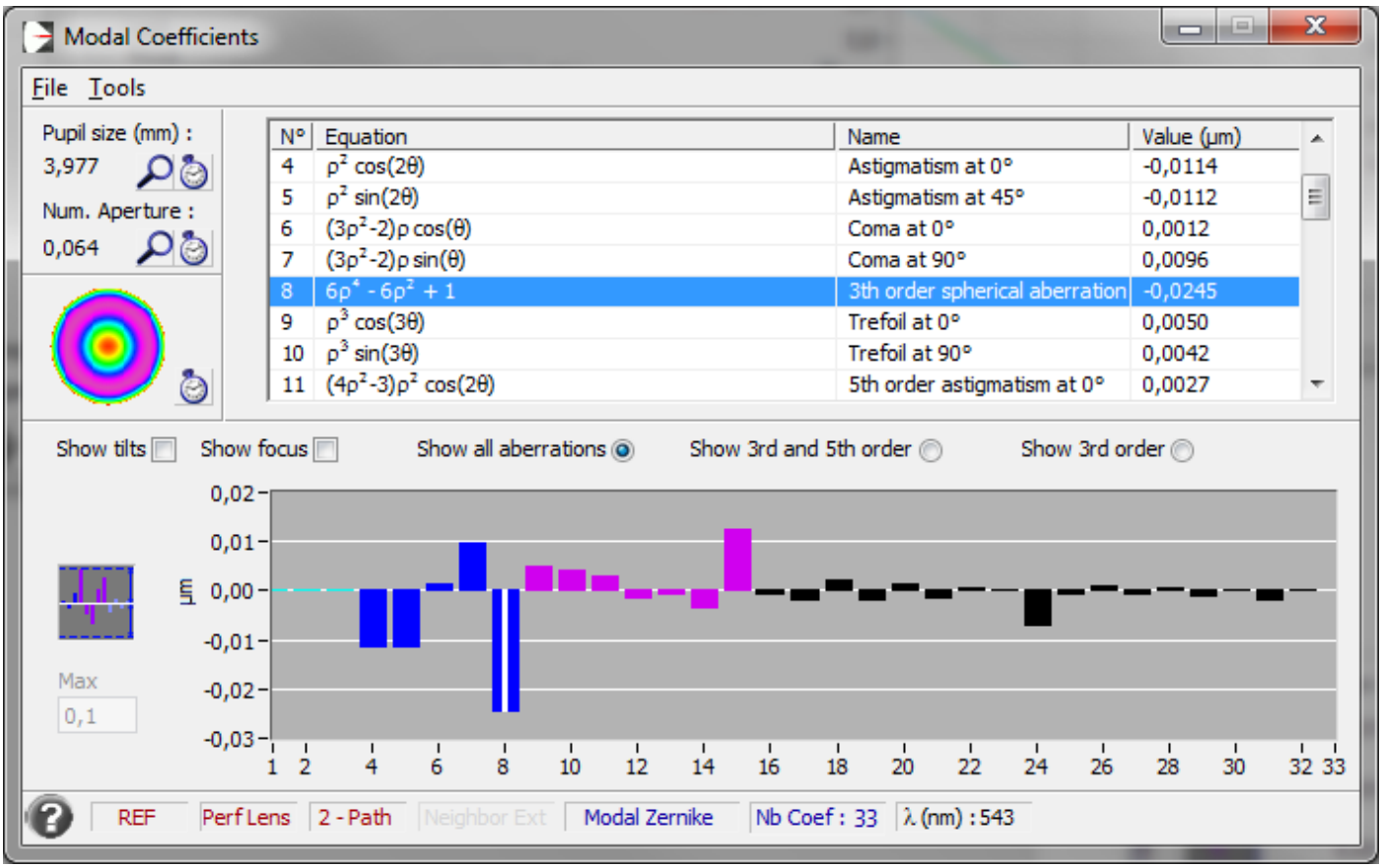


3.2.3 MTF



© 2015 Airylab SARL, 34 rue Jean Baptiste Malon, 04800 Gréoux les Bains. +33 492788172
Les informations contenues dans ce rapport appartiennent à Airylab. Reproduction soumise à autorisation.
Information and graphics in this report belongs to Airylab. Reproduction requires an a written authorization.

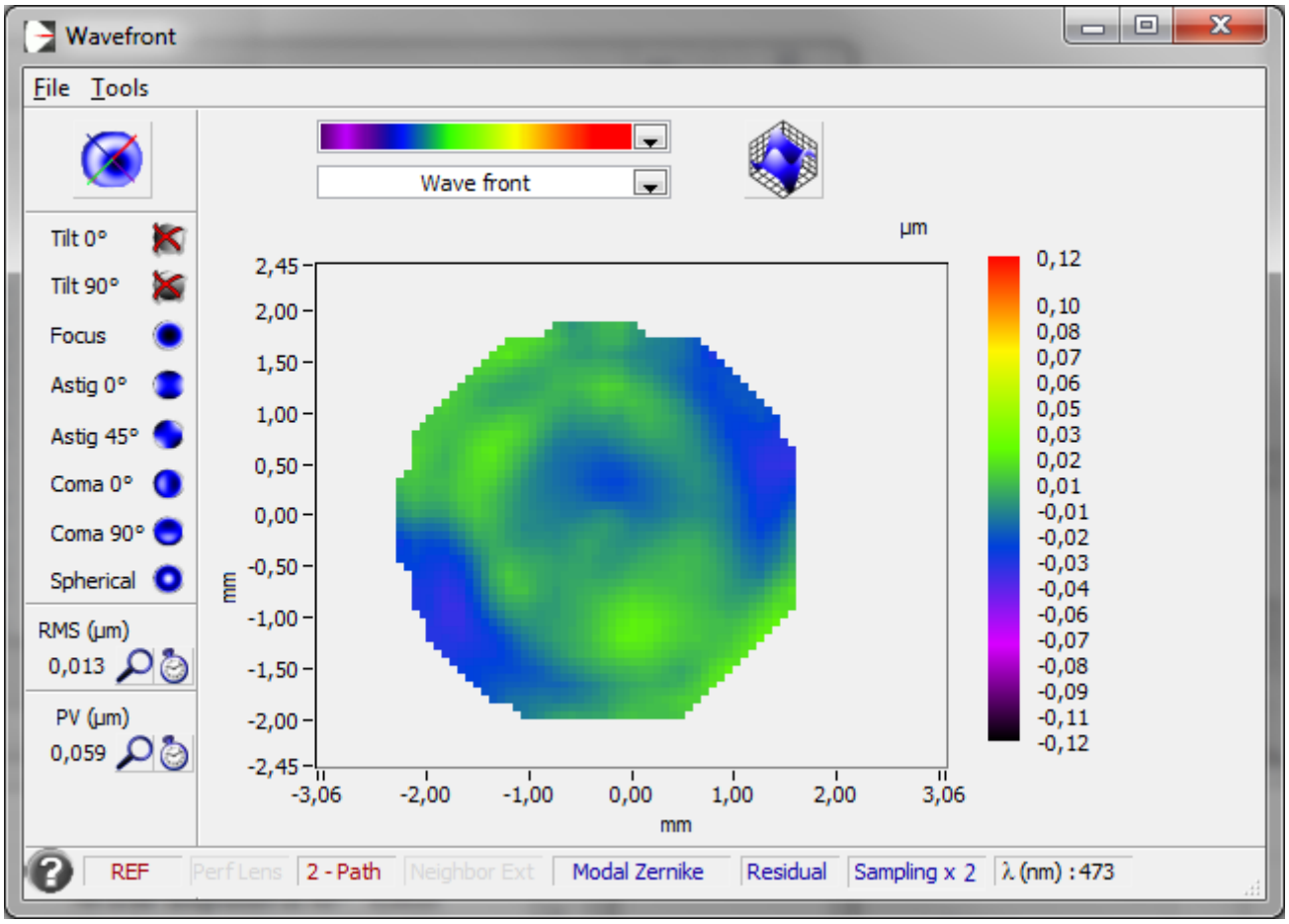
3.2.4 Décomposition de Zernike / *Zernike polynomial breakdown*



© 2015 Airylab SARL, 34 rue Jean Baptiste Malon, 04800 Gréoux les Bains. +33 492788172
Les informations contenues dans ce rapport appartiennent à Airylab. Reproduction soumise à autorisation.
Information and graphics in this report belongs to Airylab. Reproduction requires an a written authorization.

3.3 Mesure sur l'axe à 473nm / / *On axis at 473nm*

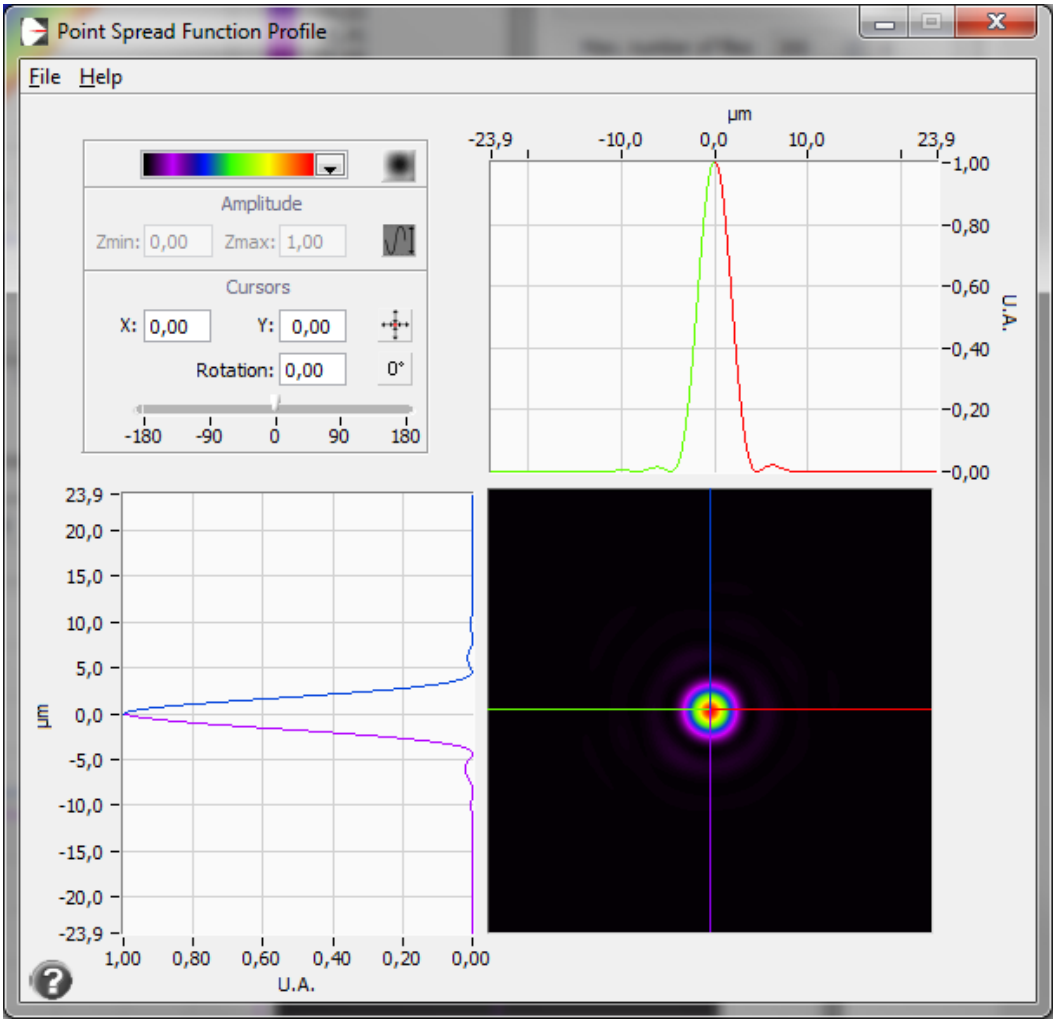
3.3.1 Front d'onde / *WFE*



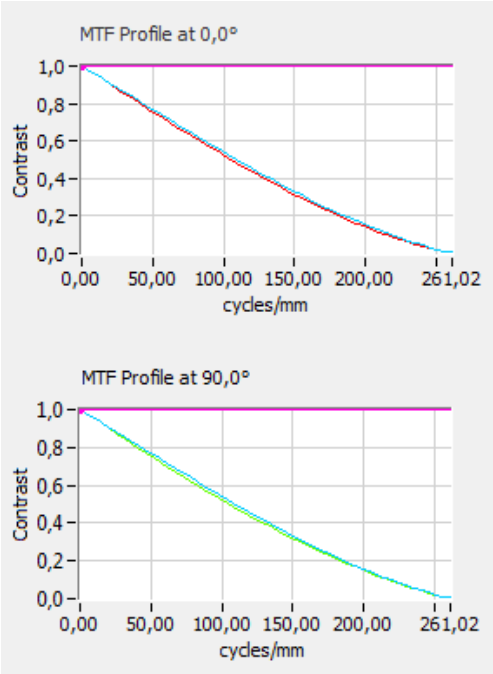
Ratio de Strehl 0,972

© 2015 Airylab SARL, 34 rue Jean Baptiste Malon, 04800 Gréoux les Bains. +33 492788172
Les informations contenues dans ce rapport appartiennent à Airylab. Reproduction soumise à autorisation.
Information and graphics in this report belongs to Airylab. Reproduction requires an a written authorization.

3.3.2 PSF

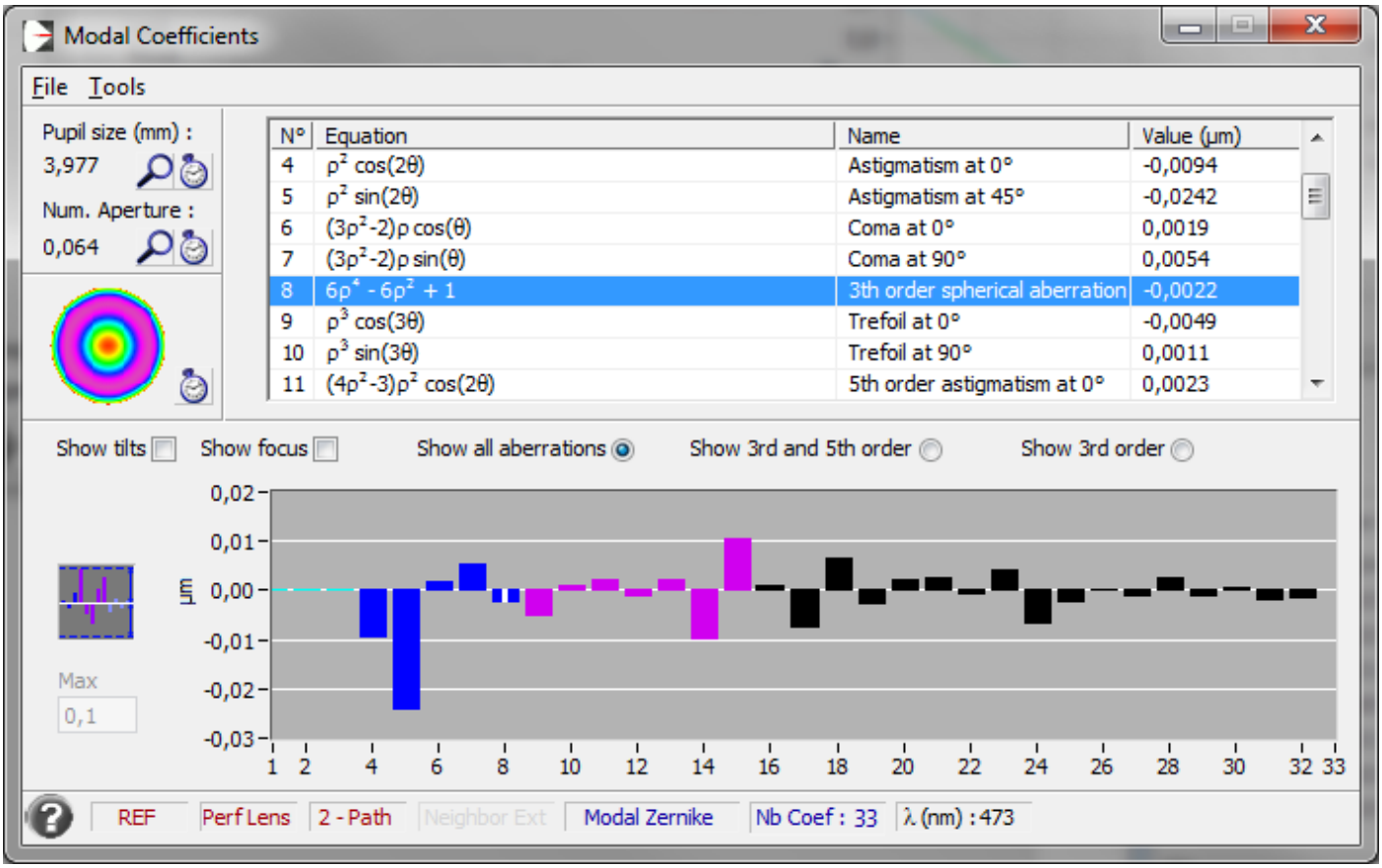


3.3.3 MTF



© 2015 Airylab SARL, 34 rue Jean Baptiste Malon, 04800 Gréoux les Bains. +33 492788172
Les informations contenues dans ce rapport appartiennent à Airylab. Reproduction soumise à autorisation.
Information and graphics in this report belongs to Airylab. Reproduction requires an a written authorization.

3.3.4 Décomposition de Zernike / *Zernike polynomial breakdown*

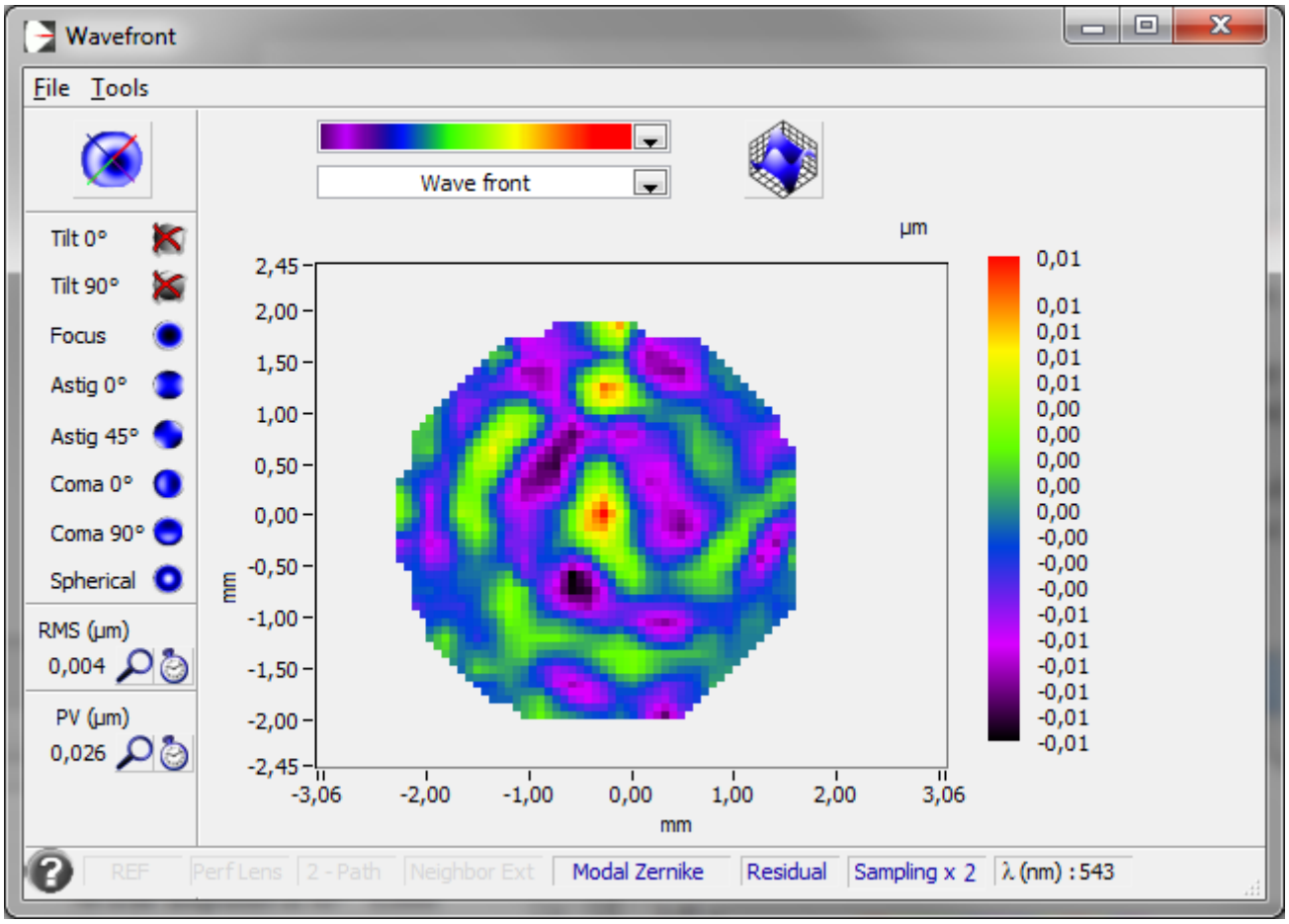


© 2015 Airylab SARL, 34 rue Jean Baptiste Malon, 04800 Gréoux les Bains. +33 492788172
Les informations contenues dans ce rapport appartiennent à Airylab. Reproduction soumise à autorisation.
Information and graphics in this report belongs to Airylab. Reproduction requires an a written authorization.

3.4 Front d'onde Résiduel (mamelonnage) / *Residual wavefront (ripple)*

Objectif : Cette mesure permet de caractériser les défauts de quelques cm de diamètres. Il s'agît 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 wavefront 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.*



© 2015 Airylab SARL, 34 rue Jean Baptiste Malon, 04800 Gréoux les Bains. +33 492788172
Les informations contenues dans ce rapport appartiennent à Airylab. Reproduction soumise à autorisation.
Information and graphics in this report belongs to Airylab. Reproduction requires an a written authorization.

3.5 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.*

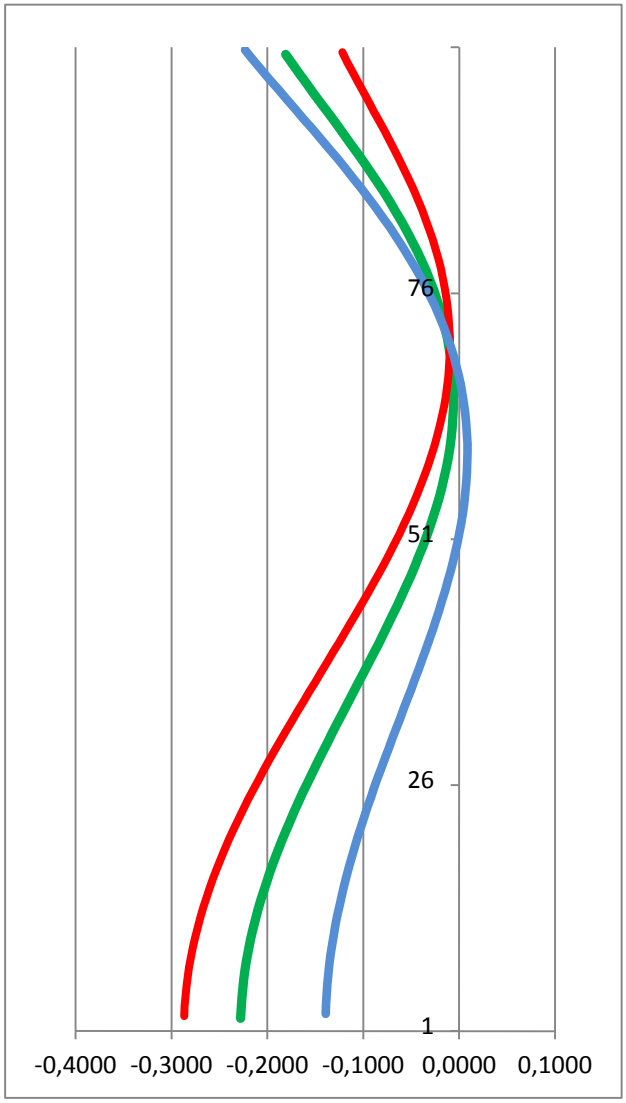
3.5.1 Décalage des meilleurs foci sur l'axe / *Best foci shift on axis*

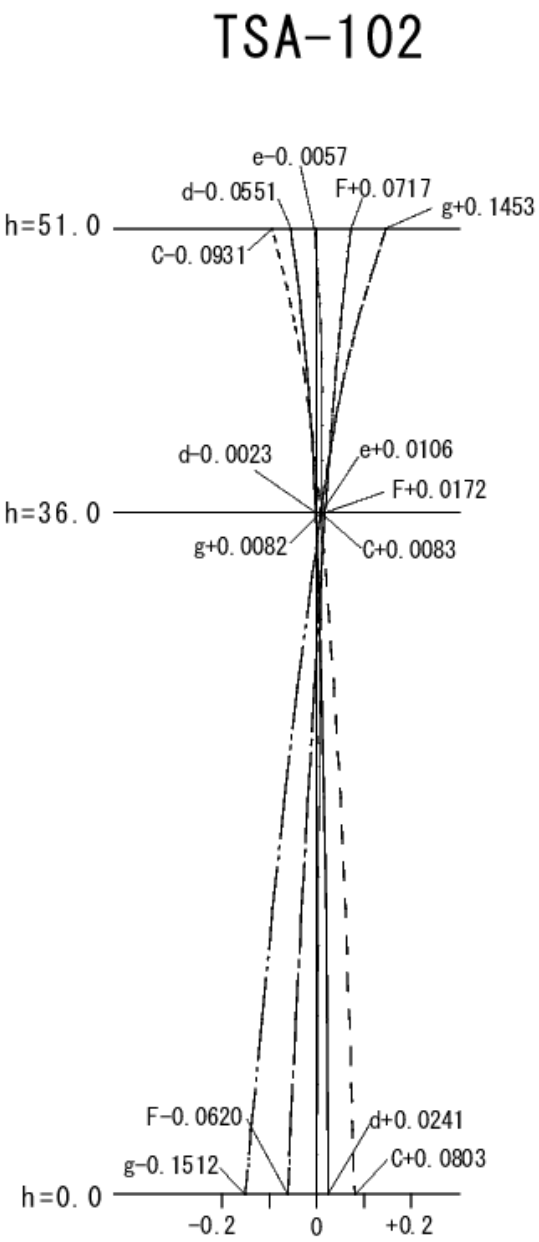
En µm	
Rouge 635 nm	0
Vert 543 nm	-20
Bleu 473 nm	0

© 2015 Airylab SARL, 34 rue Jean Baptiste Malon, 04800 Gréoux les Bains. +33 492788172
Les informations contenues dans ce rapport appartiennent à Airylab. Reproduction soumise à autorisation.
Information and graphics in this report belongs to Airylab. Reproduction requires an a written authorization.

3.5.2 Sphérochromatisme / *Spherochromatism*

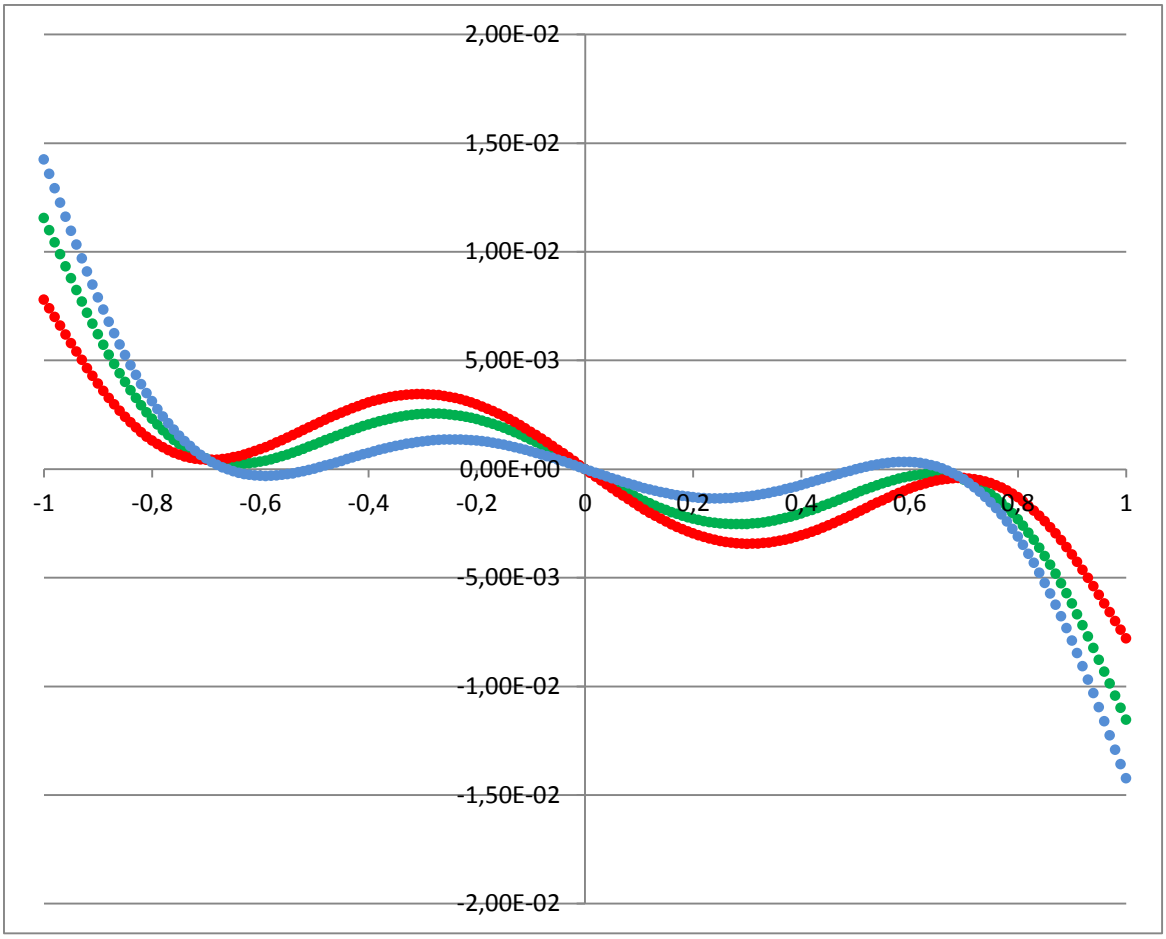
Base de calcul : aberration sphérique 3eme, 5eme et 7eme ordre.
Calculated on the 3rd, 5th and 7th spherical aberration orders.





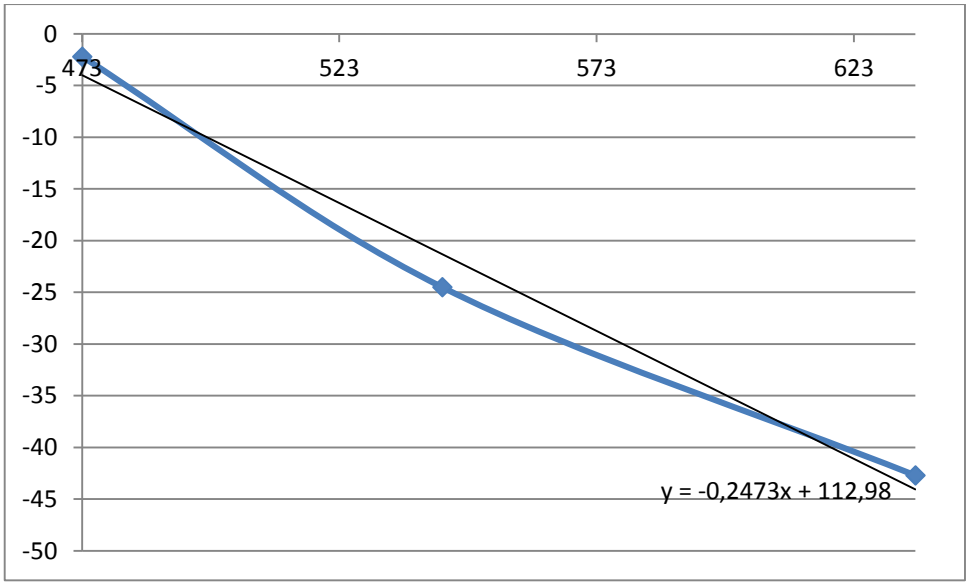
Chromatisme longitudinal mesuré/théorique, Unités mm

© 2015 Airylab SARL, 34 rue Jean Baptiste Malon, 04800 Gréoux les Bains. +33 492788172
Les informations contenues dans ce rapport appartiennent à Airylab. Reproduction soumise à autorisation.
Information and graphics in this report belongs to Airylab. Reproduction requires an a written authorization.



Chromatisme transverse, Unités mm

3.5.3 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

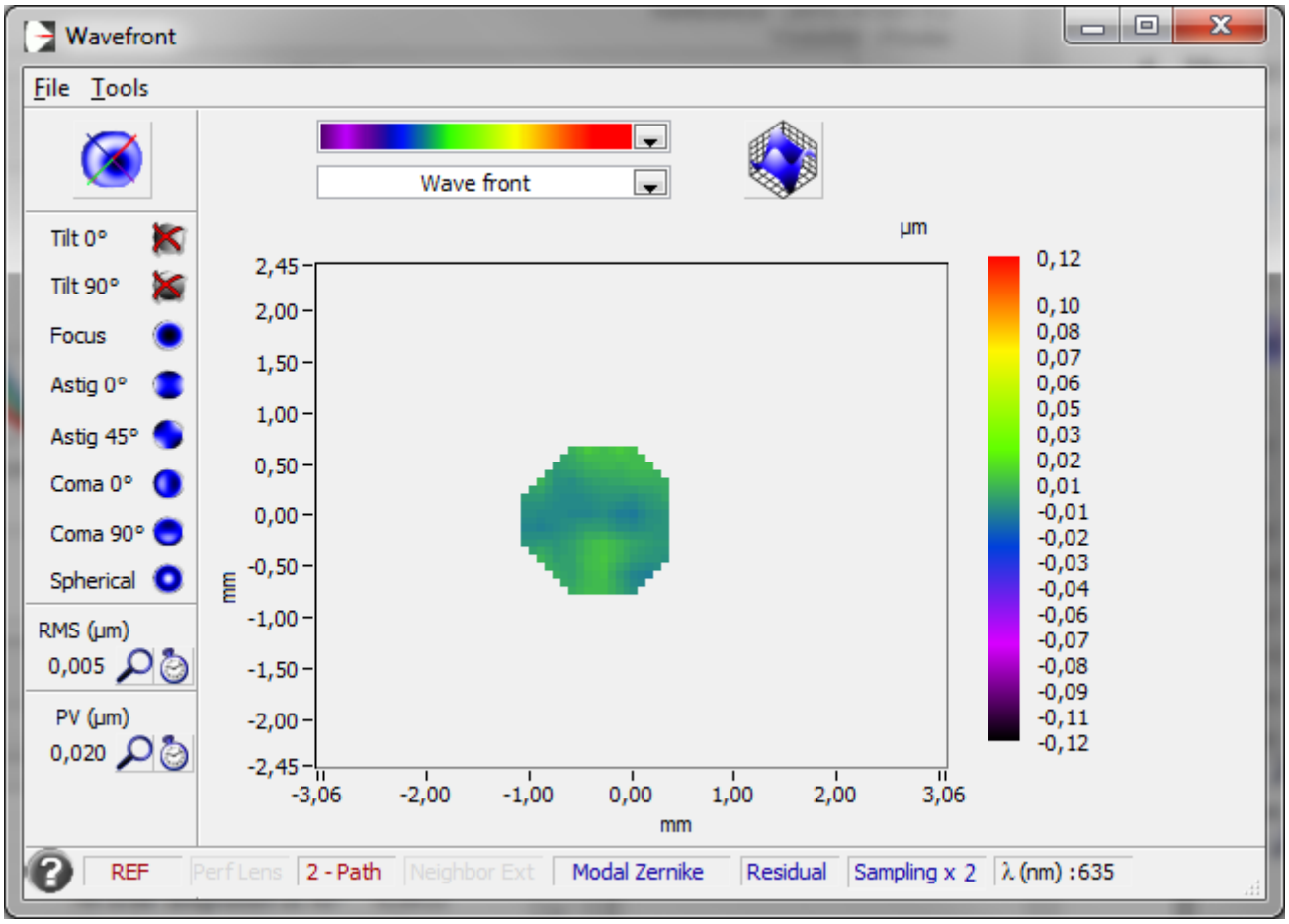
L'objectif est calé à environ 456nm (bleu profond) / *SA nulled at 456nm (deep blue)*

© 2015 Airylab SARL, 34 rue Jean Baptiste Malon, 04800 Gréoux les Bains. +33 492788172
Les informations contenues dans ce rapport appartiennent à Airylab. Reproduction soumise à autorisation.
Information and graphics in this report belongs to Airylab. Reproduction requires an a written authorization.

4 Mesures sur l'axe pupille 35% / *On axis measurement 35% aperture*

4.1 Mesure sur l'axe à 635nm / *On axis at 635nm*

4.1.1 Front d'onde / *WFE*

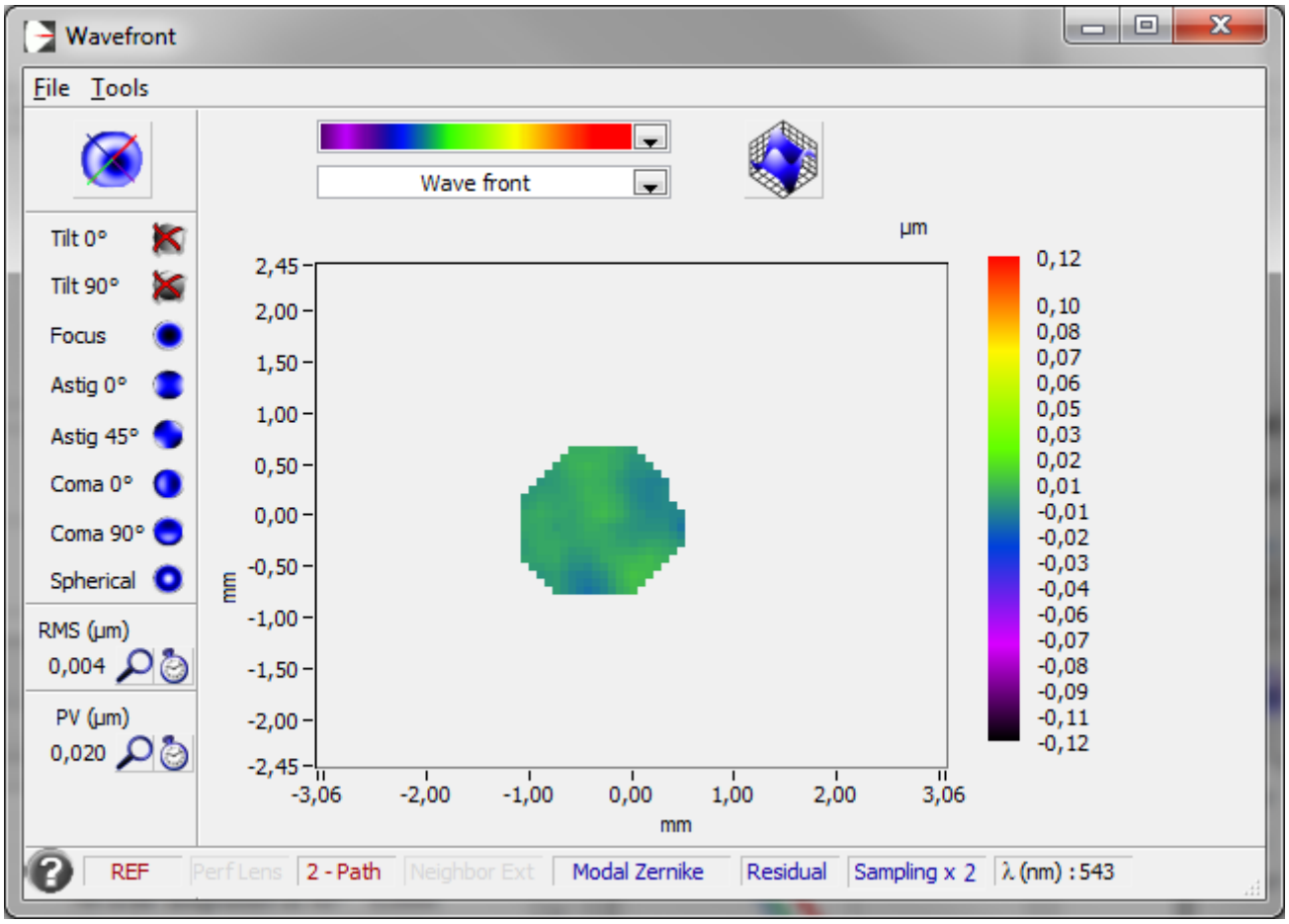


Ratio de Strehl / *Strehl Ratio* : 0,998

© 2015 Airylab SARL, 34 rue Jean Baptiste Malon, 04800 Gréoux les Bains. +33 492788172
Les informations contenues dans ce rapport appartiennent à Airylab. Reproduction soumise à autorisation.
Information and graphics in this report belongs to Airylab. Reproduction requires an a written authorization.

4.2 Mesure sur l'axe à 543nm / / *On axis at 543nm*

4.2.1 Front d'onde / *WFE*

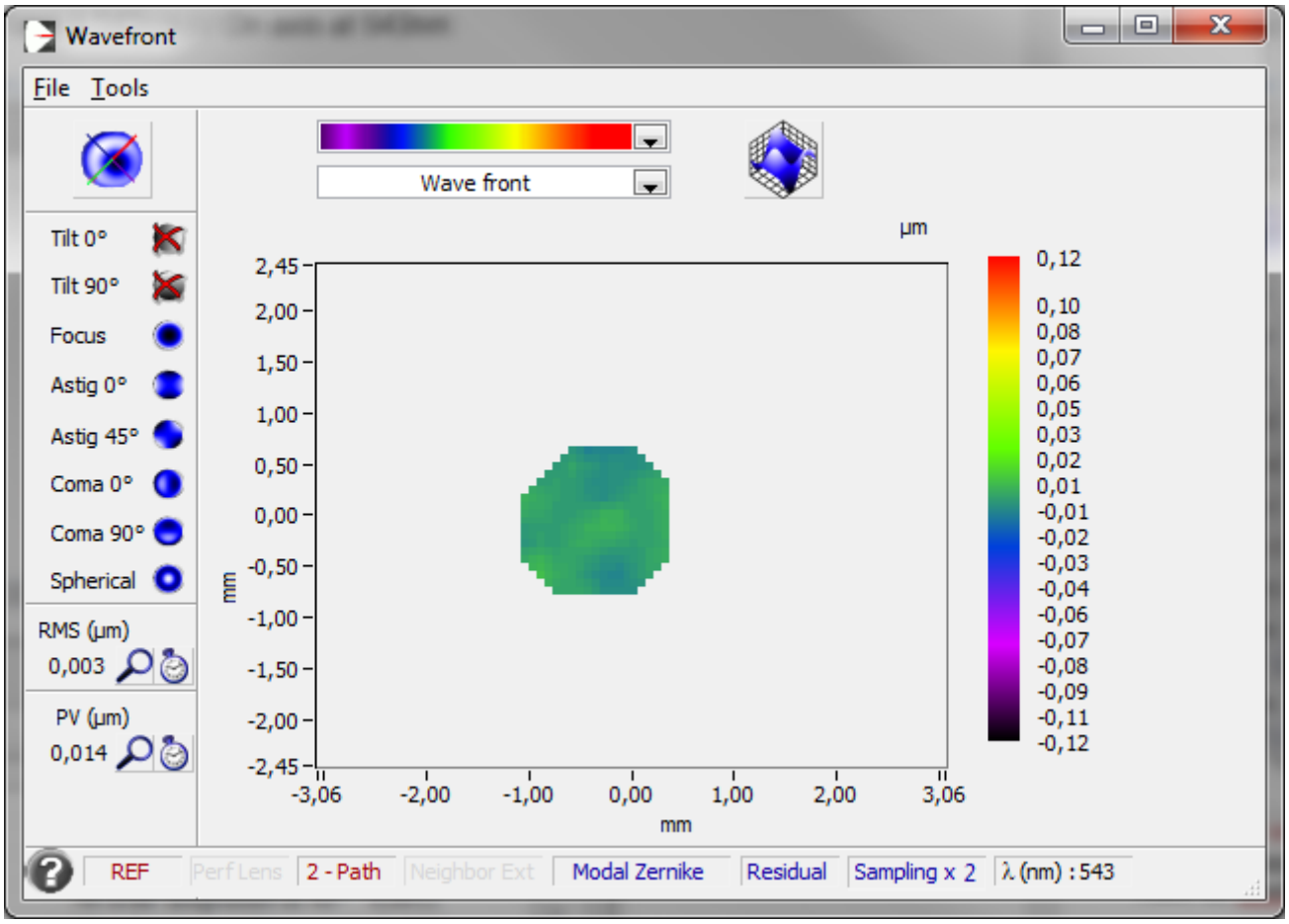


Ratio de Strehl 0,998

© 2015 Airylab SARL, 34 rue Jean Baptiste Malon, 04800 Gréoux les Bains. +33 492788172
Les informations contenues dans ce rapport appartiennent à Airylab. Reproduction soumise à autorisation.
Information and graphics in this report belongs to Airylab. Reproduction requires an a written authorization.

4.3 Mesure sur l'axe à 473nm / / *On axis at 473nm*

4.3.1 Front d'onde / *WFE*



Ratio de Strehl 0,999

© 2015 Airylab SARL, 34 rue Jean Baptiste Malon, 04800 Gréoux les Bains. +33 492788172
Les informations contenues dans ce rapport appartiennent à Airylab. Reproduction soumise à autorisation.
Information and graphics in this report belongs to Airylab. Reproduction requires an a written authorization.

4.4 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.*

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

En µm	
Rouge 635 nm	0
Vert 543 nm	-50
Bleu 473 nm	-140

© 2015 Airylab SARL, 34 rue Jean Baptiste Malon, 04800 Gréoux les Bains. +33 492788172
Les informations contenues dans ce rapport appartiennent à Airylab. Reproduction soumise à autorisation.
Information and graphics in this report belongs to Airylab. Reproduction requires an a written authorization.

5 Mesure dans le champ à 543nm / *Field performances at 543nm*

Objectif : Les mesures dans le champ permettent de vérifier les performances lorsqu'on s'éloigne du centre du champ ou du capteur. Ces performances sont impactées par les aberrations de champ classiques (coma et astigmatisme) et par la courbure de champ.

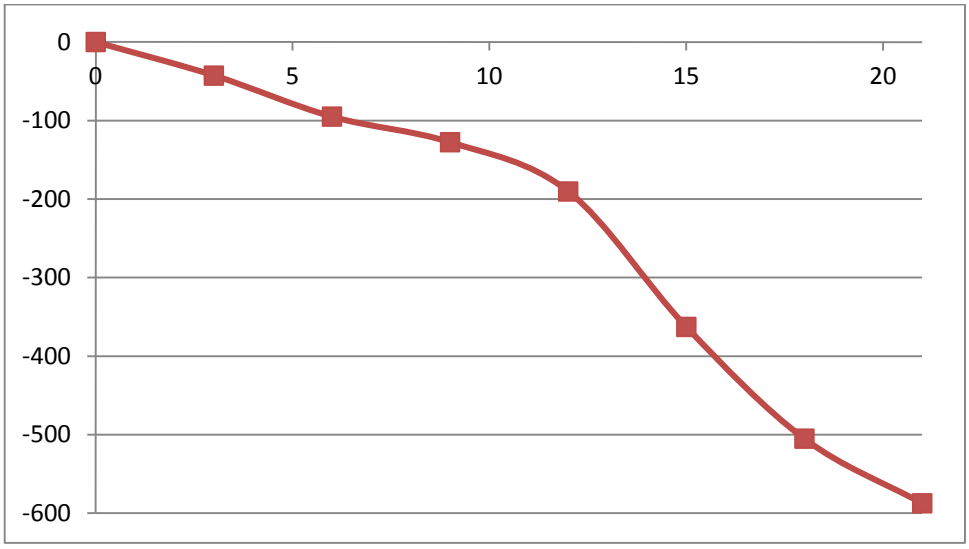
Objective : *Field measurements show the performance in the field from 0 to 21mm of the optical axis. Usually field aberration such as coma and astigmatism increase and field curvature cause defocus. The distance can be increased to 35mm for exceptionally corrected systems.*

5.1 Courbure de champ / *Field curvature*

Measurement range, fully illuminated field diameter
Pezval curvature radius, worst defocus value.

Mesure de 0 à 21mm
Cercle de pleine lumière : <36 mm (avec la bague verte)

Rayon de courbure de Petzval mesuré : 300mm
Décalage du point à 21mm de l'axe : 588 µm



Décalage du foyer en µm en fonction de la distance à l'axe optique en mm.
Focus shift in µm versus the position from the optical axis in mm.

© 2015 Airylab SARL, 34 rue Jean Baptiste Malon, 04800 Gréoux les Bains. +33 492788172
Les informations contenues dans ce rapport appartiennent à Airylab. Reproduction soumise à autorisation.
Information and graphics in this report belongs to Airylab. Reproduction requires an a written authorization.

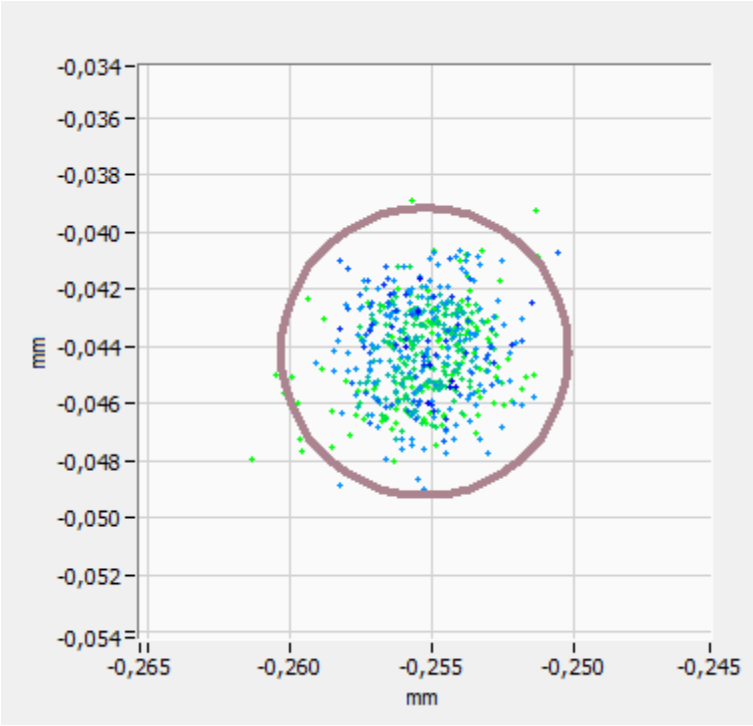
5.2 Spot diagram à 635nm / *Spots at 635nm*

Le cercle représente la taille théorique de la tâche de diffraction.

Les points verts représentent les rayons marginaux (extérieur de la pupille), les bleus les rayons paraxiaux (proche de l'axe optique).
Les *spot diagrams* dans le champ sont donnés sans prendre en compte la courbure de champ à gauche (cas d'une utilisation avec un oculaire), et avec la défocalisation due à la courbure de champ à droite (cas d'une utilisation avec un film/capteur plan).

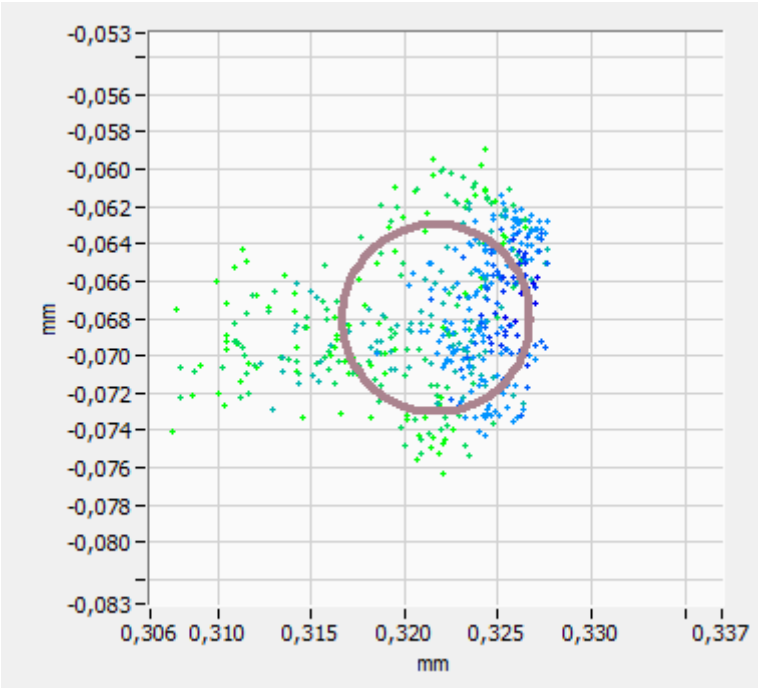
The circle is the theoretical diffraction spot size. Spot diagrams don't take diffraction into account.
Green spots are issued from the marginal rays (near the pupil edge), paraxial blue spots come from the pupil center.
Spot diagrams are shown without (visual application) and with the field curvature (sensor application).

Sur l'axe / *On axis*



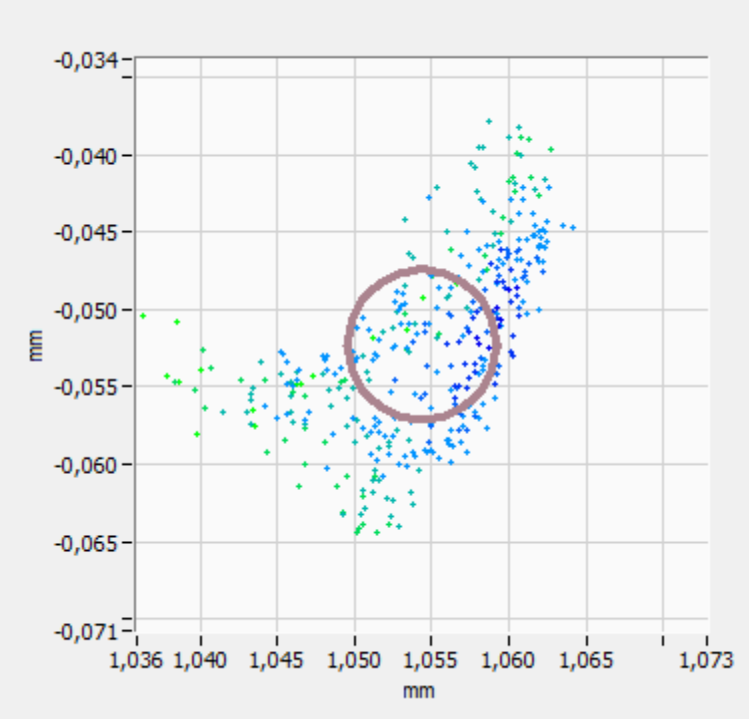
12mm

© 2015 Airylab SARL, 34 rue Jean Baptiste Malon, 04800 Gréoux les Bains. +33 492788172
Les informations contenues dans ce rapport appartiennent à Airylab. Reproduction soumise à autorisation.
Information and graphics in this report belongs to Airylab. Reproduction requires an a written authorization.



Focalisé

21mm (full frame)



Focalisé

Fin du document.

© 2015 Airylab SARL, 34 rue Jean Baptiste Malon, 04800 Gréoux les Bains. +33 492788172
Les informations contenues dans ce rapport appartiennent à Airylab. Reproduction soumise à autorisation.
Information and graphics in this report belongs to Airylab. Reproduction requires an a written authorization.