Ce rapport de test est commenté pour une meilleure compréhension des résultats des mesures faites par Airylab. Ce rapport comprend des mesures qui peuvent être des options en plus du test forfaitaire.
Des liens vers l'optipédia d'Airylab permettent d'approfondir plus avant certaines notions utilisées dans les explications.

Référence : 2010-42001 FJ
Visibilité : Public

sse de la Cour, 83560 Vinon sur Verdon

apport de mesure

Airylab a documenté les procédures de mesure. Celles-ci sont disponibles sur demande.

	2010-42001
	15/10/2010
	FJ
Procédure de mesure	RF-DP
Haso	HA-4333
LIP	LI-1028
Objectif(s)	MOD32-4, MOD32-6.4
Miroir	BD-6

Clie	
Type d'optique	Lunette 60mm
Fabricant	Takahashi
Nom/modèle	FS-60
S/N	08011

Longueur d'onde
473
543
635
805

Ce cartouche mentionne les longueurs d'onde utilisées pour le test. Chaque longueur d'onde est fournie par une source laser stabilisée

Termes d'aberration	
Tilt X	
Tilt Y	
Focus	
Astig 0°	
Astig 45°	
Coma 0°	
Coma 90°	
Sphérique	

En général, les termes de tilt et de focus ne sont pas pris en compte car il ne s'agit pas d'aberrations au sens propre

Incertitude PTV	F 5,9 : 8,44nm F 4,2 : 11.78nm
Incertitude RMS	F 5,9 : 1,34nm F 4,2 : 1,36nm
Interpolation	X2
Mode	Zonal + modal
référence	Oui
Mesures moyennées	200
Double passage	Oui
température	23°
Sous pupilles	-
Conjugaison de pupille	Oui

Les incertitudes de mesure sont données ici en fonction du matériel utilisé et du protocole de mesure. Il est possible de retrouver la détermination de cette incertitude ici.

Essais réalisés	
Centrage sur l'axe[1]	RR
Mesure sur l'axe	Oui
Mesure chromatisme	Oui
Mesure sur mécanique	Oui
Alignement optique	non
Mesure dans le champ	Oui
Courbure de champ	Oui
Système correcteur	Oui
Conjugaison	∞ Foyer

Les essais réalisés sont listés dans ce cartouche. Cela dépend du type d'instrument, et de la demande du client.

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

© 2010 Airylab SARL, 12 impasse de la cour 83560 Vinon sur Verdon. Tel : 04 92 76 50 89.
Les informations contenues dans ce rapport appartiennent au client et à Airylab. Reproduction soumise à autorisation.

Sommaire

1 Mesure sans correcteur de champ 5
1.1 Mesure à 635nm 5
1.1.1 Front d'onde 5
1.1.2 Fonction de transfert de modulation 6
1.1.3 Réponse percussionnelle 7
1.1.4 Décomposition de Zernike 8
1.2 Mesure à 543nm 9
1.2.1 Front d'onde 9
1.2.2 Fonction de transfert de modulation 9
1.2.3 Réponse percussionnelle 10
1.2.4 Décomposition de Zernike 11
1.3 Mesure à 473nm 12
1.3.1 Front d'onde 12
1.3.2 Fonction de transfert de modulation 13
1.3.3 Réponse percussionnelle 13
1.3.4 Décomposition de Zernike 14
1.4 Chromatisme 15
1.4.1 Décalage des meilleurs foci sur l'axe 15
1.4.2 Sphérochromatisme 15
1.5 Mesure dans le champ à 635nm 17
1.5.1 Courbure de champ 17
1.5.2 Spot diagram 17
2 Mesure avec réducteur 4.2 backfocus 56mm 21
2.1 Mesure à 635nm 21
2.1.1 Front d'onde 21
2.1.2 Fonction de transfert de modulation 22
2.1.3 Réponse percussionnelle 22
2.1.4 Décomposition de Zernike 23
2.2 Mesure à 543nm 24
2.2.1 Front d'onde 24
2.2.2 Fonction de transfert de modulation 24
2.2.3 Réponse percussionnelle 25
2.2.4 Décomposition de Zernike 26
2.3 Mesure à 473nm 27
2.3.1 Front d'onde 27

© 2010 Airylab SARL, 12 impasse de la cour 83560 Vinon sur Verdon. Tel : 04 92 76 50 89.
Les informations contenues dans ce rapport appartiennent au client et à Airylab. Reproduction soumise à autorisation.

2.3.2 Fonction de transfert de modulation 27
2.3.3 Réponse percussionnelle 28
2.3.4 Décomposition de Zernike 29
2.4 Chromatisme 30
2.4.1 Décalage des meilleurs foci sur l'axe 30
2.4.2 Sphérochromatisme 30
2.5 Mesure dans le champ à 635nm 32
2.5.1 Courbure de champ 32
2.5.2 Spot diagram 32
3 Mesure avec aplanisseur 6.2 backfocus 56mm 35
3.1 Mesure à 635nm 35
3.1.1 Front d'onde 35
3.1.2 Fonction de transfert de modulation 36
3.1.3 Réponse percussionnelle 36
3.1.4 Décomposition de Zernike 37
3.2 Mesure à 543nm 38
3.2.1 Front d'onde 38
3.2.2 Fonction de transfert de modulation 38
3.2.3 Réponse percussionnelle 39
3.2.4 Décomposition de Zernike 39
3.3 Mesure à 473nm 41
3.3.1 Front d'onde 41
3.3.2 Fonction de transfert de modulation 41
3.3.3 Réponse percussionnelle 42
3.3.4 Décomposition de Zernike 43
3.4 Chromatisme 44
3.4.1 Décalage des meilleurs foci sur l'axe 44
3.4.2 Sphérochromatisme 44
3.5 Mesure dans le champ à 635nm 46
3.5.1 Courbure de champ 46
3.5.2 Spot diagram 46
4 Mesure avec convertisseur x1,7 50
4.1 Front d'onde 50
4.2 Chromatisme 51
4.2.1 Décalage des meilleurs foci sur l'axe 51
4.2.2 Sphérochromatisme 51

© 2010 Airylab SARL, 12 impasse de la cour 83560 Vinon sur Verdon. Tel : 04 92 76 50 89.
Les informations contenues dans ce rapport appartiennent au client et à Airylab. Reproduction soumise à autorisation.

4.3 Mesure dans le champ à 635nm 53
4.3.1 Courbure de champ.....53
4.3.2 Spot diagram.....54
5 Synthèse 56
5.1 Erreur sur l'onde.....56
5.2 Taille de la tâche de diffraction à 635nm 56
5.2.1 Visuel 56
5.2.2 Photographie.....57
5.3 Aberration chromatique transverse.....57

© 2010 Airylab SARL, 12 impasse de la cour 83560 Vinon sur Verdon. Tel : 04 92 76 50 89.
Les informations contenues dans ce rapport appartiennent au client et à Airylab. Reproduction soumise à autorisation.

1 Mesure sans correcteur de champ

Focale : 355mm
Nombre d'ouverture : 5,9
Taille théorique de la tâche de diffraction :

Focale	355
Diamètre	60
Longueur d'onde	Taille PSF µm
635	9,17
543	7,84
473	6,83

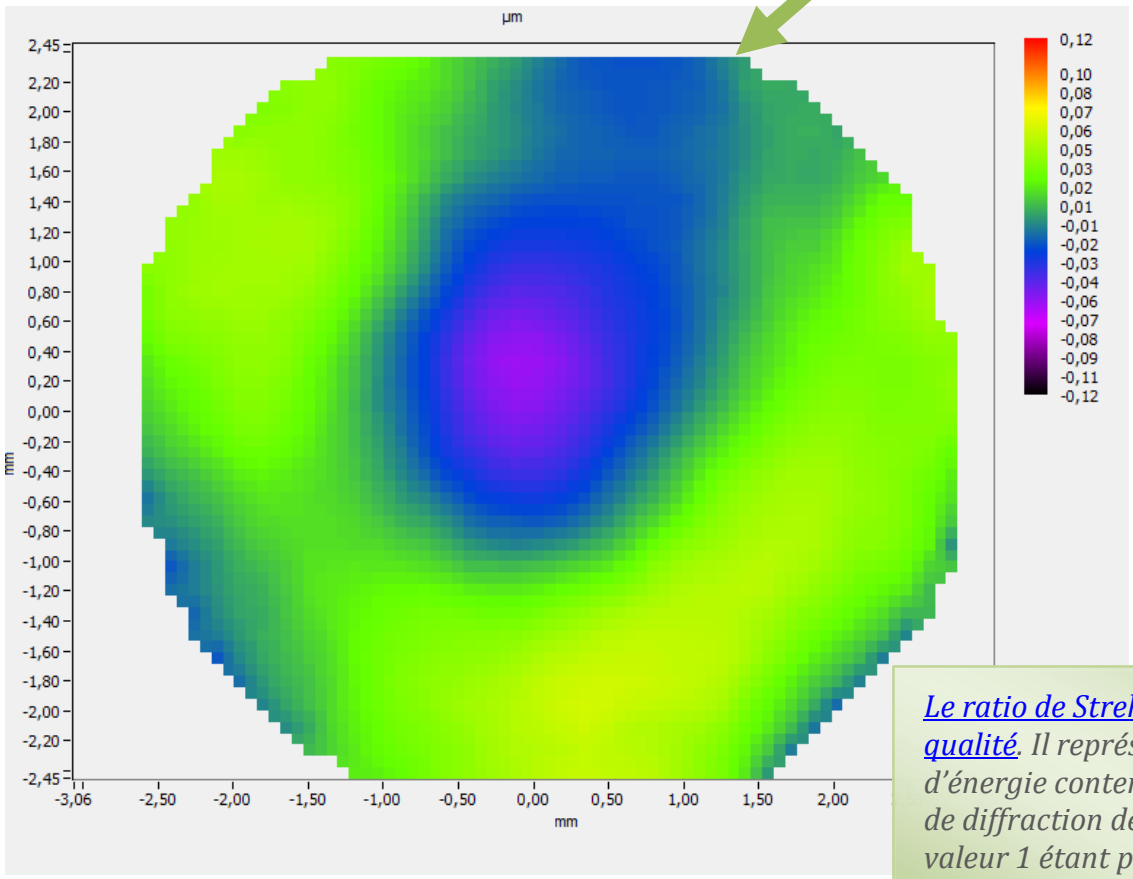
La taille théorique de la tâche de diffraction dépend de l'ouverture du système optique. Il en est de même pour les fréquences de coupure des MTF.

Fréquence théorique de coupure à 635nm : 272 cycles/mm
Fréquence théorique de coupure à 543nm : 318 cycles/mm
Fréquence théorique de coupure à 473nm : 365 cycles/mm

L'image du front d'onde permet de voir les erreurs sur l'onde en nm selon une carte de couleur. C'est l'information de base de la mesure. Pour les objectifs les mesures peuvent être faites sur plusieurs longueurs d'onde.

1.1 Mesure à 635nm

1.1.1 Front d'onde



Le ratio de Strehl est un critère de qualité. Il représente la part d'énergie contenue dans la tâche de diffraction de premier ordre, la valeur 1 étant parfaite.
Ici le résultat est très bon.

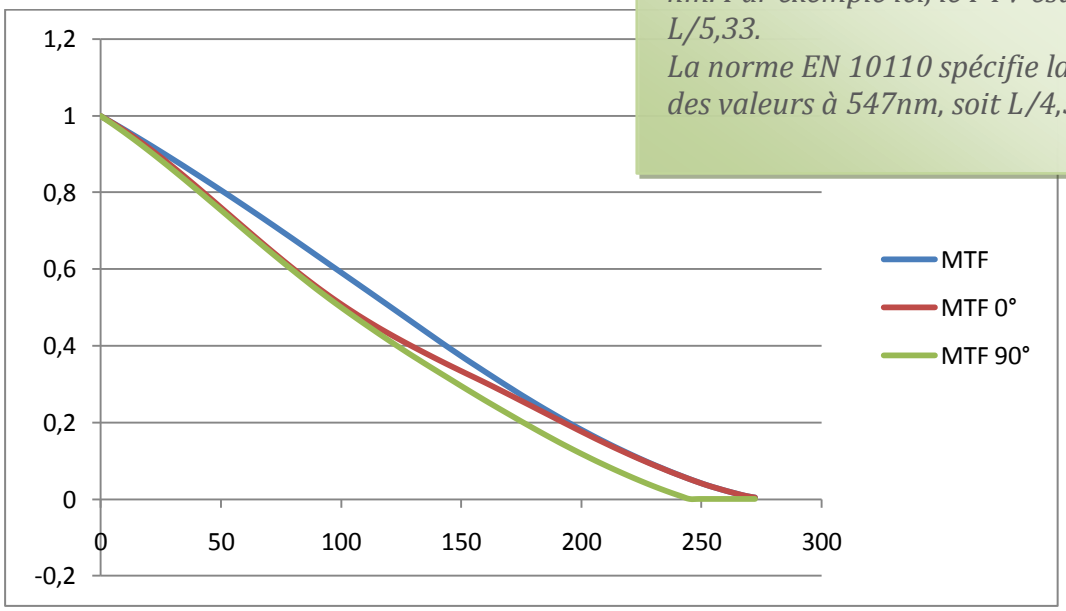
Ratio de Strehl : 0,923

© 2010 Airylab SARL, 12 impasse de la cour 83560 Vinon sur Verdon. Tel : 04 92 76 50 89.
Les informations contenues dans ce rapport appartiennent au client et à Airylab. Reproduction soumise à autorisation.

Erreur PTV : 119 nm
Erreur RMS : 27 nm

Les erreurs PTV et RMS sont l'un des critères de qualité d'un système optique. Ils représentent l'erreur du front d'onde soit au pire, soit moyennée sur la surface.
Airylab donne les erreurs en nm sur l'onde. Pour retrouver des valeurs de type L/x, il suffit de diviser la longueur d'onde par l'erreur en nm. Par exemple ici, le PTV est 635/119 = L/5,33.
La norme EN 10110 spécifie la normalisation des valeurs à 547nm, soit L/4,59.

1.1.2 Fonction de transfert de modulation



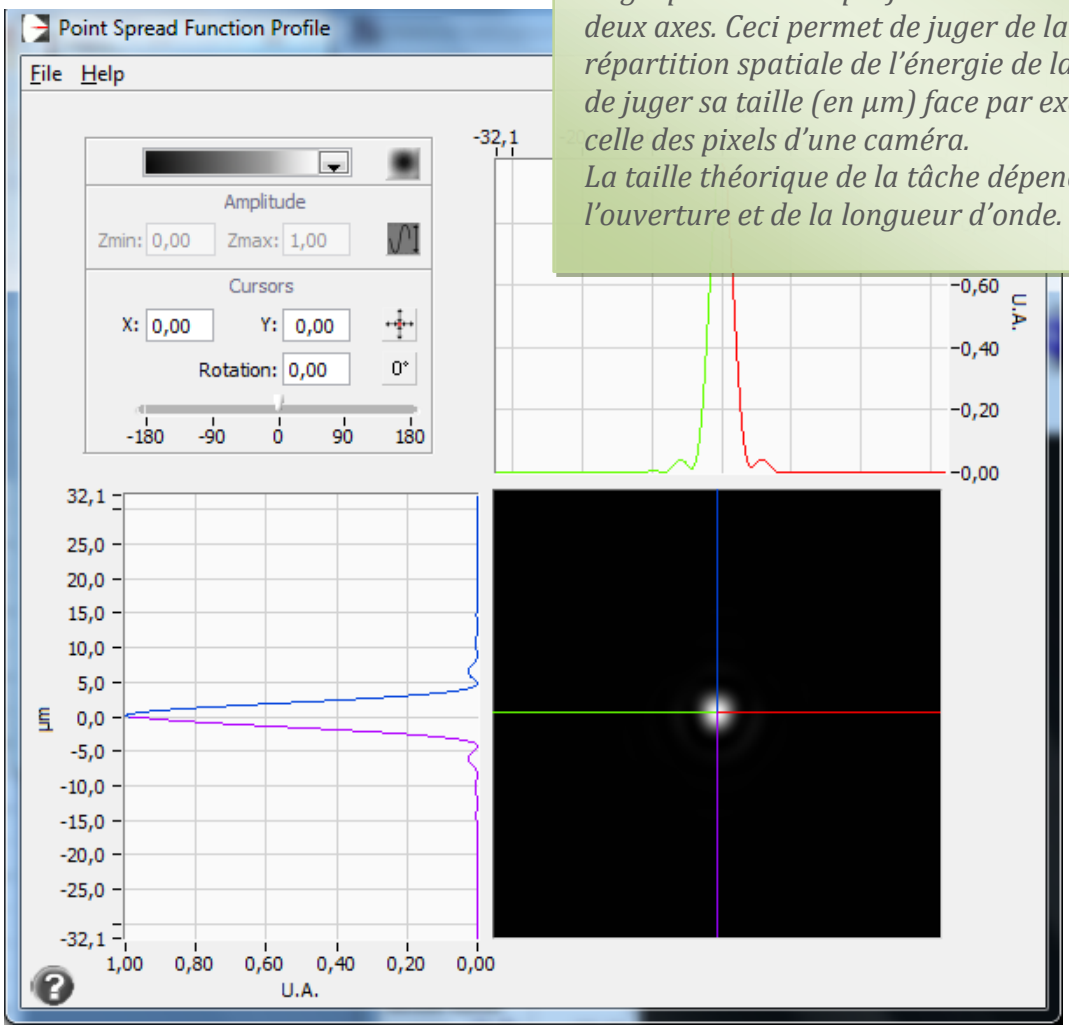
Note : la FTM 90° est dégradée par le fait que la pupille de mesure est légèrement tronquée.

La FTM permet de visualiser les performances de l'optique en fonction des fréquences spatiales. En bleue la courbe parfaite, et rouge et vert les courbes mesurées sur deux axes perpendiculaires.

© 2010 Airylab SARL, 12 impasse de la cour 83560 Vinon sur Verdon. Tel : 04 92 76 50 89.
Les informations contenues dans ce rapport appartiennent au client et à Airylab. Reproduction soumise à autorisation.

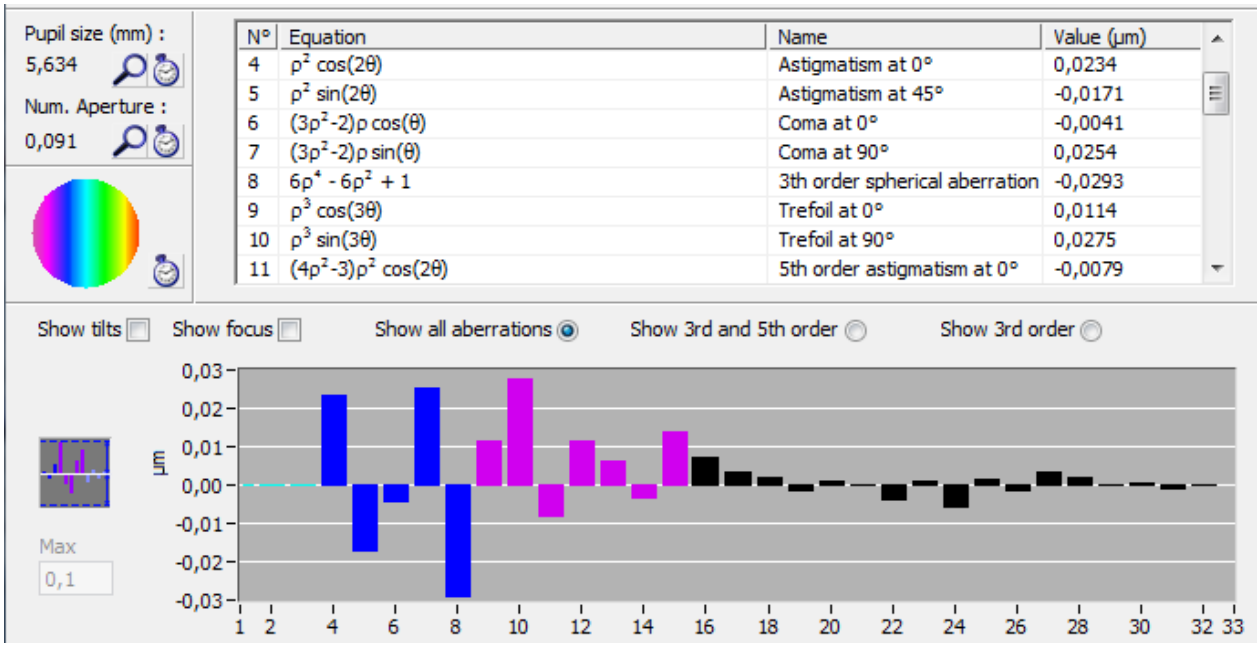
1.1.3 Réponse percussionnelle

La réponse percussionnelle, ou PSF, est le terme optique pour désigner la tâche de diffraction, ou figure d'Airy.
Le graphe donne le profile de cette tâche sur deux axes. Ceci permet de juger de la répartition spatiale de l'énergie de la tâche, et de juger sa taille (en µm) face par exemple à celle des pixels d'une caméra.
La taille théorique de la tâche dépend de l'ouverture et de la longueur d'onde.



© 2010 Airylab SARL, 12 impasse de la cour 83560 Vinon sur Verdon. Tel : 04 92 76 50 89.
Les informations contenues dans ce rapport appartiennent au client et à Airylab. Reproduction soumise à autorisation.

1.1.4 Décomposition de Zernike



N°	Equation	Name	Value (µm)
4	$\rho^2 \cos(2\theta)$	Astigmatism at 0°	0,0234
5	$\rho^2 \sin(2\theta)$	Astigmatism at 45°	-0,0171
6	$(3\rho^2-2)\rho \cos(\theta)$	Coma at 0°	-0,0041
7	$(3\rho^2-2)\rho \sin(\theta)$	Coma at 90°	0,0254
8	$6\rho^4 - 6\rho^2 + 1$	3th order spherical aberration	-0,0293
9	$\rho^3 \cos(3\theta)$	Trefoil at 0°	0,0114
10	$\rho^3 \sin(3\theta)$	Trefoil at 90°	0,0275
11	$(4\rho^2-3)\rho^2 \cos(2\theta)$	5th order astigmatism at 0°	-0,0079

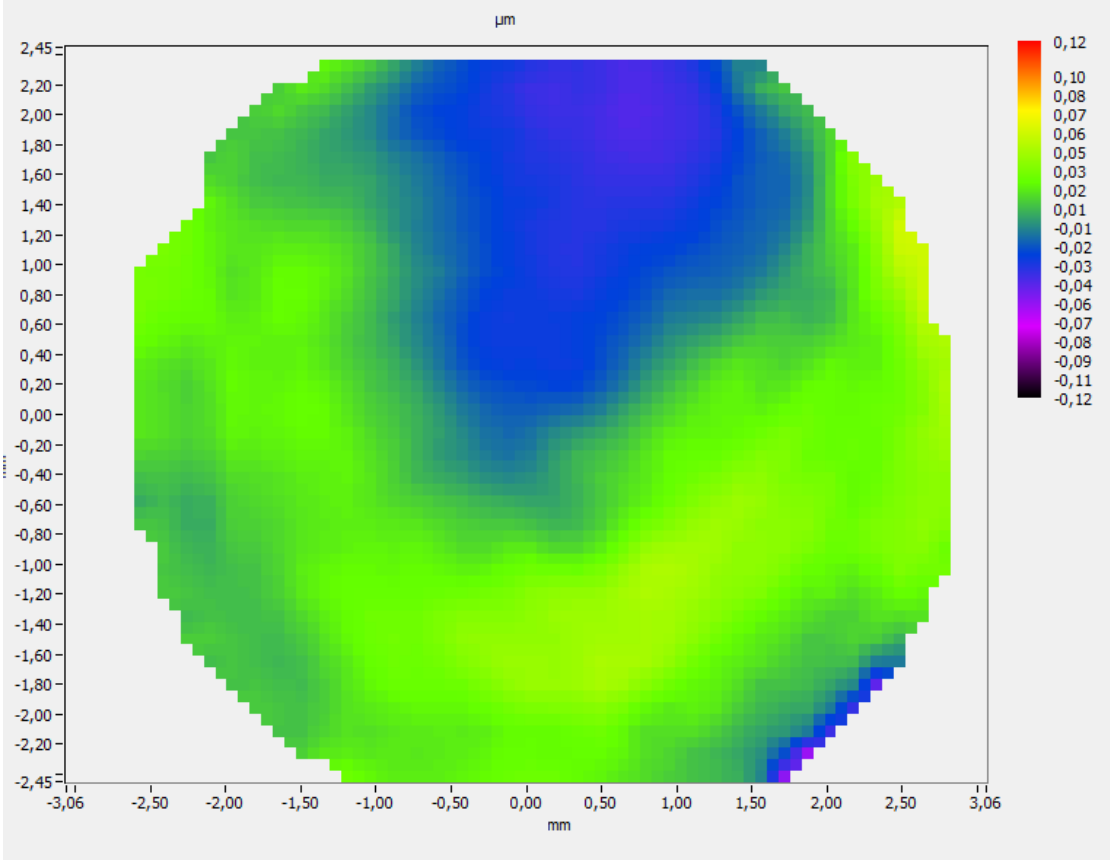
La décomposition du front d'onde en polynôme de Zernike permet de caractériser les aberrations selon leur nature : sphérique, astigmatisme, coma…
Ceci permet d'avoir une idée de leur origine et de voir quelles sont les actions correctrices possibles. Par exemple un astigmatisme ou un trefoil peuvent provenir d'une contrainte mécanique sur l'optique, une aberration sphérique d'une mise en température ou d'un complément optique…

© 2010 Airylab SARL, 12 impasse de la cour 83560 Vinon sur Verdon. Tel : 04 92 76 50 89.
Les informations contenues dans ce rapport appartiennent au client et à Airylab. Reproduction soumise à autorisation.

L'optique testée étant ici une lunette, elle est mesurée sur plusieurs longueurs d'onde caractéristiques du bleu, vert et rouge.

1.2 Mesure à 543nm

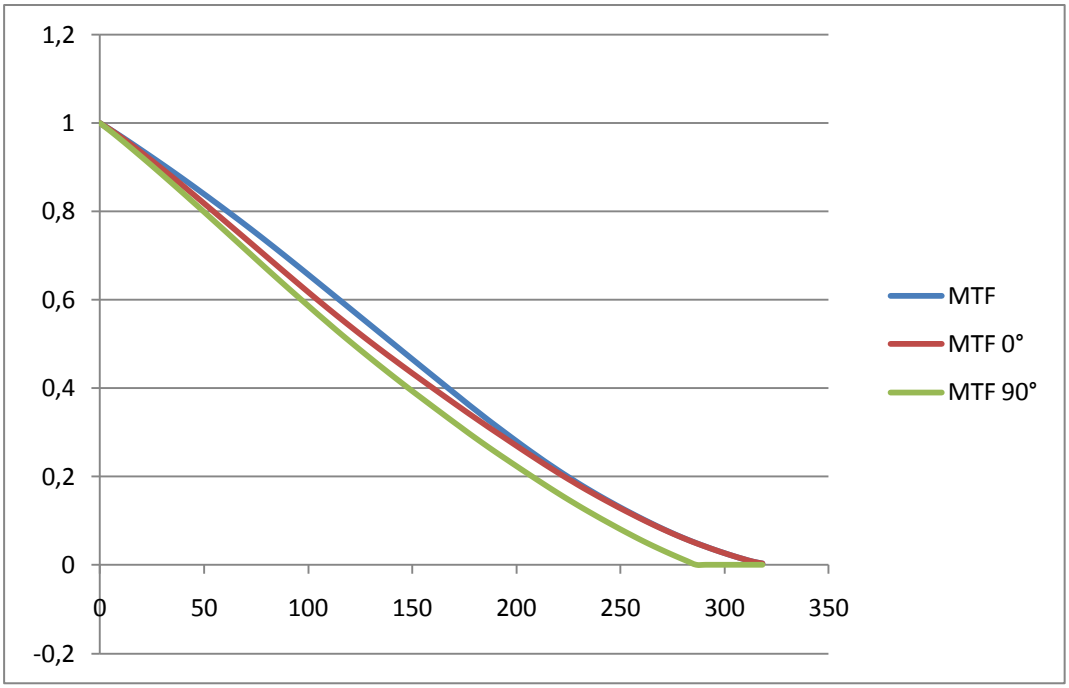
1.2.1 Front d'onde



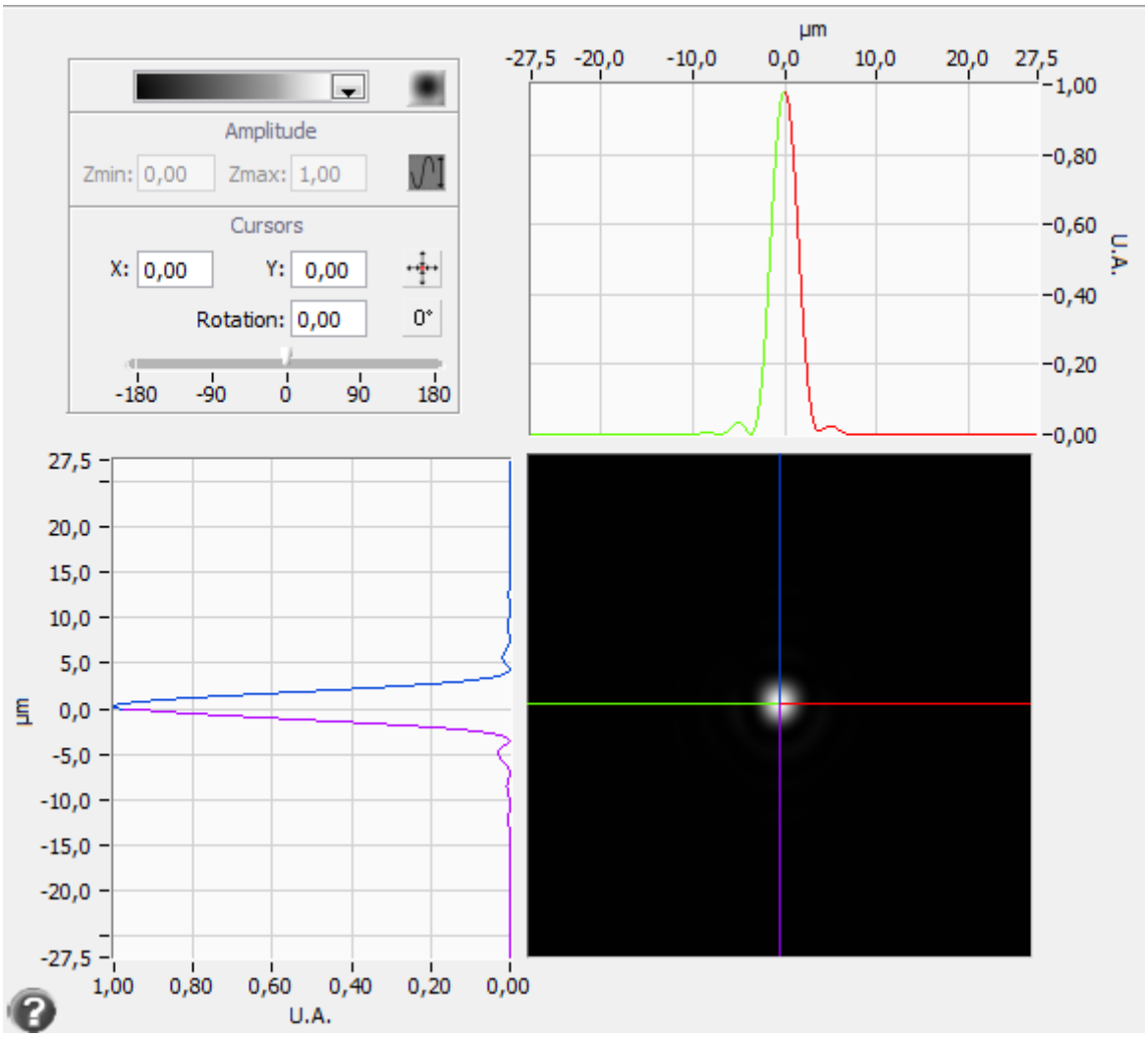
Ratio de Strehl : 0,936
Erreur PTV : 116 nm
Erreur RMS : 22 nm

1.2.2 Fonction de transfert de modulation

© 2010 Airylab SARL, 12 impasse de la cour 83560 Vinon sur Verdon. Tel : 04 92 76 50 89.
Les informations contenues dans ce rapport appartiennent au client et à Airylab. Reproduction soumise à autorisation.

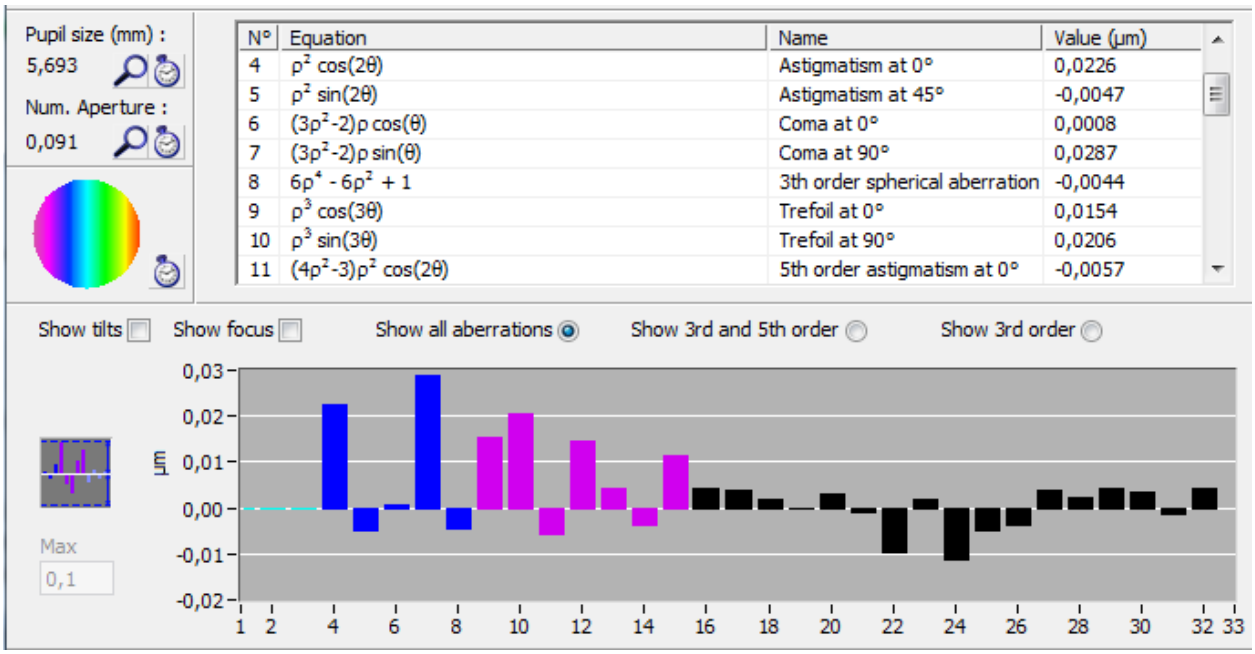


1.2.3 Réponse percussionnelle



© 2010 Airylab SARL, 12 impasse de la cour 83560 Vinon sur Verdon. Tel : 04 92 76 50 89.
Les informations contenues dans ce rapport appartiennent au client et à Airylab. Reproduction soumise à autorisation.

1.2.4 Décomposition de Zernike



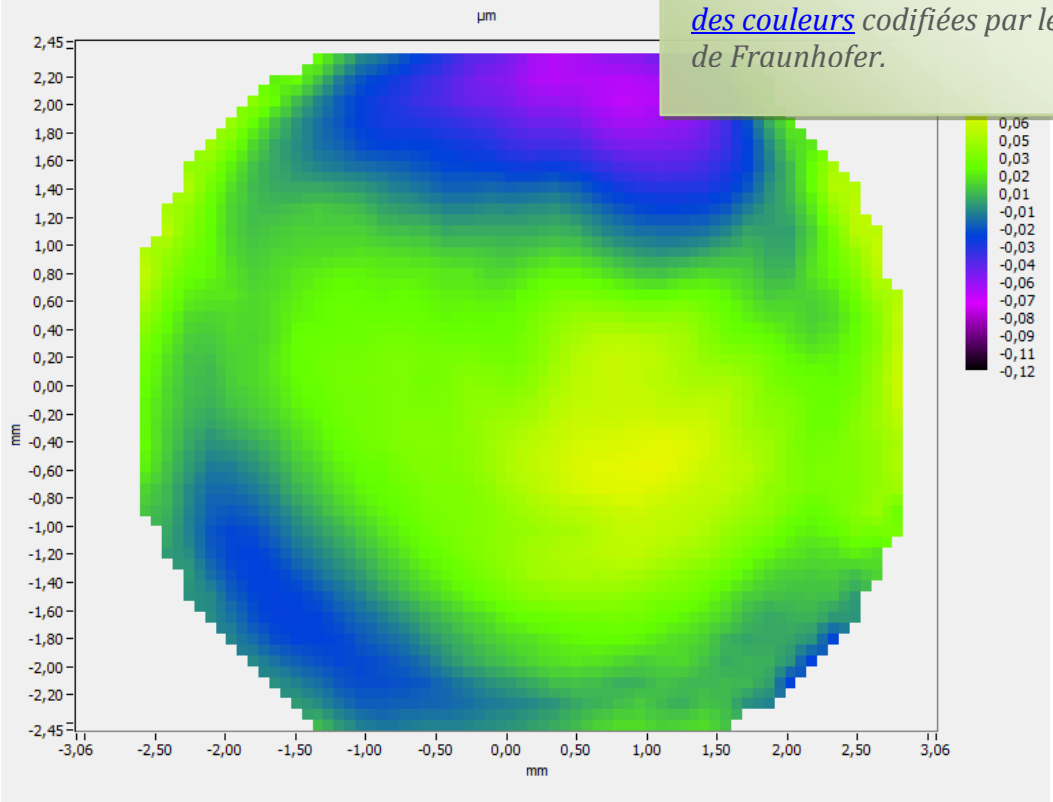
N°	Equation	Name	Value (µm)
4	$\rho^2 \cos(2\theta)$	Astigmatism at 0°	0,0226
5	$\rho^2 \sin(2\theta)$	Astigmatism at 45°	-0,0047
6	$(3\rho^2-2)\rho \cos(\theta)$	Coma at 0°	0,0008
7	$(3\rho^2-2)\rho \sin(\theta)$	Coma at 90°	0,0287
8	$6\rho^4 - 6\rho^2 + 1$	3th order spherical aberration	-0,0044
9	$\rho^3 \cos(3\theta)$	Trefoil at 0°	0,0154
10	$\rho^3 \sin(3\theta)$	Trefoil at 90°	0,0206
11	$(4\rho^2-3)\rho^2 \cos(2\theta)$	5th order astigmatism at 0°	-0,0057

© 2010 Airylab SARL, 12 impasse de la cour 83560 Vinon sur Verdon. Tel : 04 92 76 50 89.
Les informations contenues dans ce rapport appartiennent au client et à Airylab. Reproduction soumise à autorisation.

Le bleu est souvent la longueur d'onde la plus difficile pour les réfracteurs qui sont optimisés pour le vert ; longueur d'onde caractéristique de la meilleure sensibilité de l'œil. En optique, les instruments sont optimisés pour [des couleurs](#) codifiées par les raies de Fraunhofer.

1.3 Mesure à 473nm

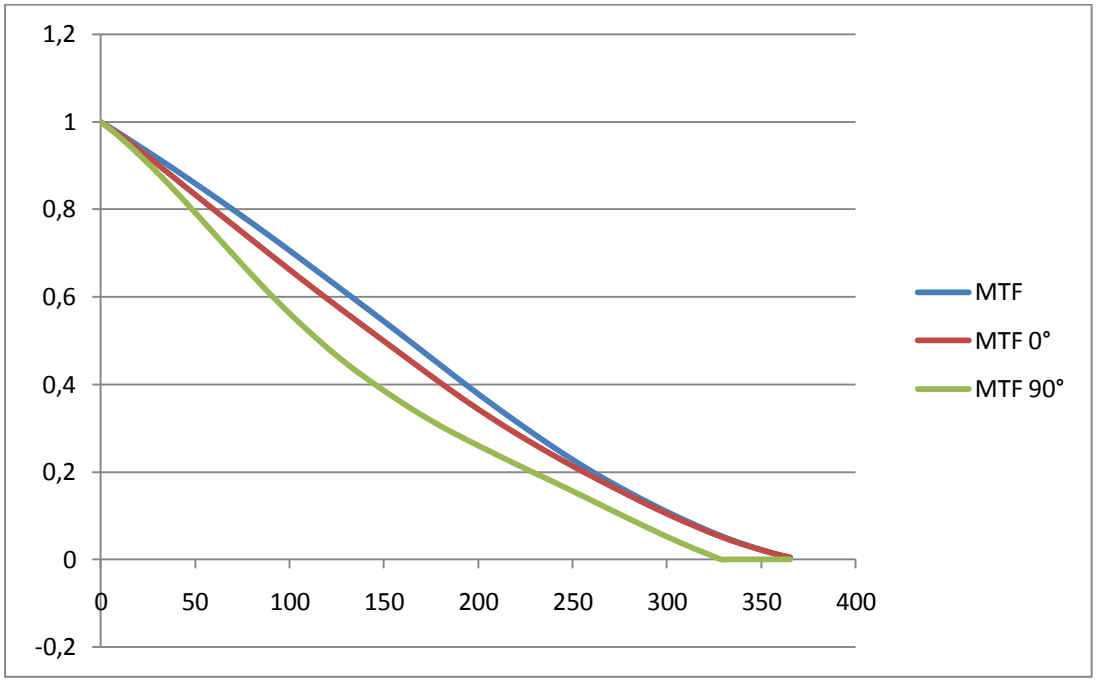
1.3.1 Front d'onde



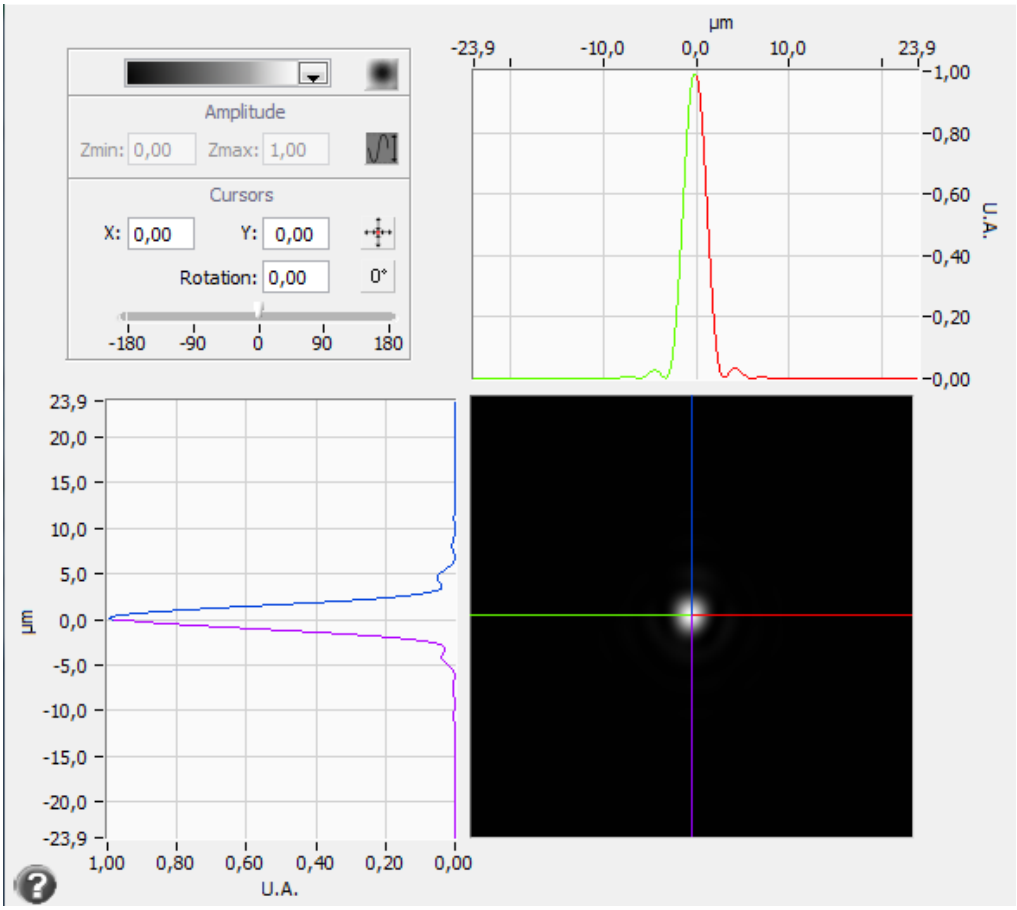
Ratio de Strehl : 0,870
Erreur PTV : 132 nm,
Erreur RMS : 28 nm

© 2010 Airylab SARL, 12 impasse de la cour 83560 Vinon sur Verdon. Tel : 04 92 76 50 89.
Les informations contenues dans ce rapport appartiennent au client et à Airylab. Reproduction soumise à autorisation.

1.3.2 Fonction de transfert de modulation

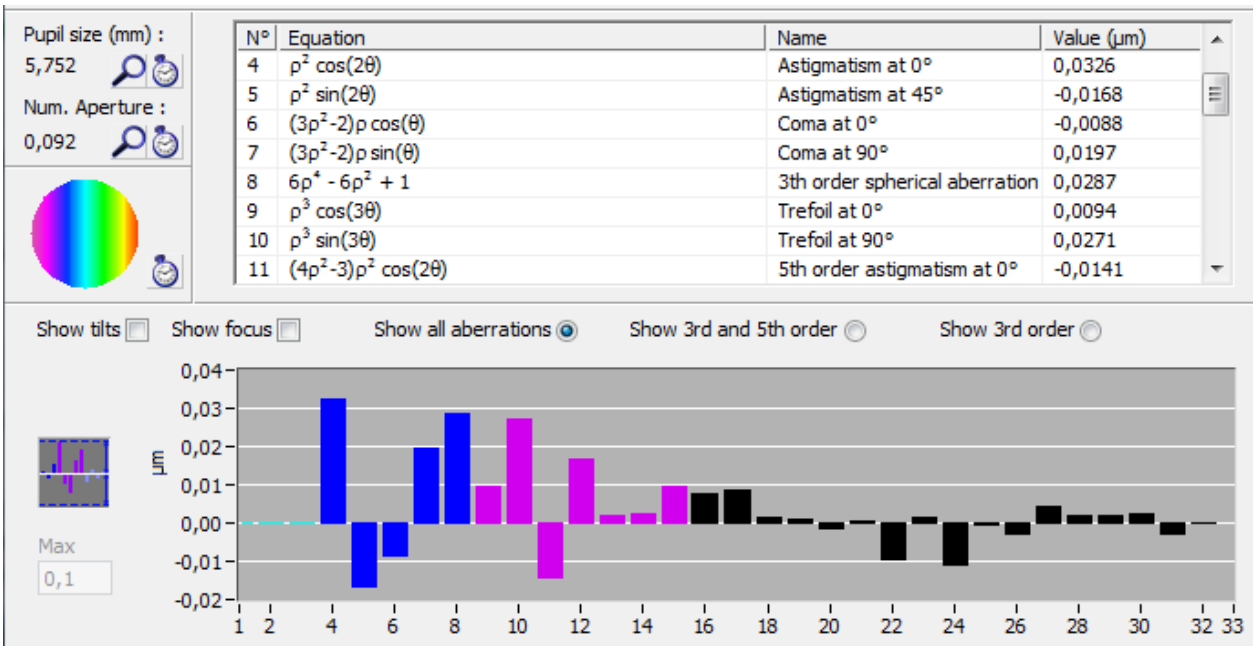


1.3.3 Réponse percussionnelle



© 2010 Airylab SARL, 12 impasse de la cour 83560 Vinon sur Verdon. Tel : 04 92 76 50 89.
Les informations contenues dans ce rapport appartiennent au client et à Airylab. Reproduction soumise à autorisation.

1.3.4 Décomposition de Zernike



N°	Equation	Name	Value (µm)
4	$\rho^2 \cos(2\theta)$	Astigmatism at 0°	0,0326
5	$\rho^2 \sin(2\theta)$	Astigmatism at 45°	-0,0168
6	$(3\rho^2-2)\rho \cos(\theta)$	Coma at 0°	-0,0088
7	$(3\rho^2-2)\rho \sin(\theta)$	Coma at 90°	0,0197
8	$6\rho^4 - 6\rho^2 + 1$	3th order spherical aberration	0,0287
9	$\rho^3 \cos(3\theta)$	Trefoil at 0°	0,0094
10	$\rho^3 \sin(3\theta)$	Trefoil at 90°	0,0271
11	$(4\rho^2-3)\rho^2 \cos(2\theta)$	5th order astigmatism at 0°	-0,0141

© 2010 Airylab SARL, 12 impasse de la cour 83560 Vinon sur Verdon. Tel : 04 92 76 50 89.
Les informations contenues dans ce rapport appartiennent au client et à Airylab. Reproduction soumise à autorisation.

1.4 Chromatisme

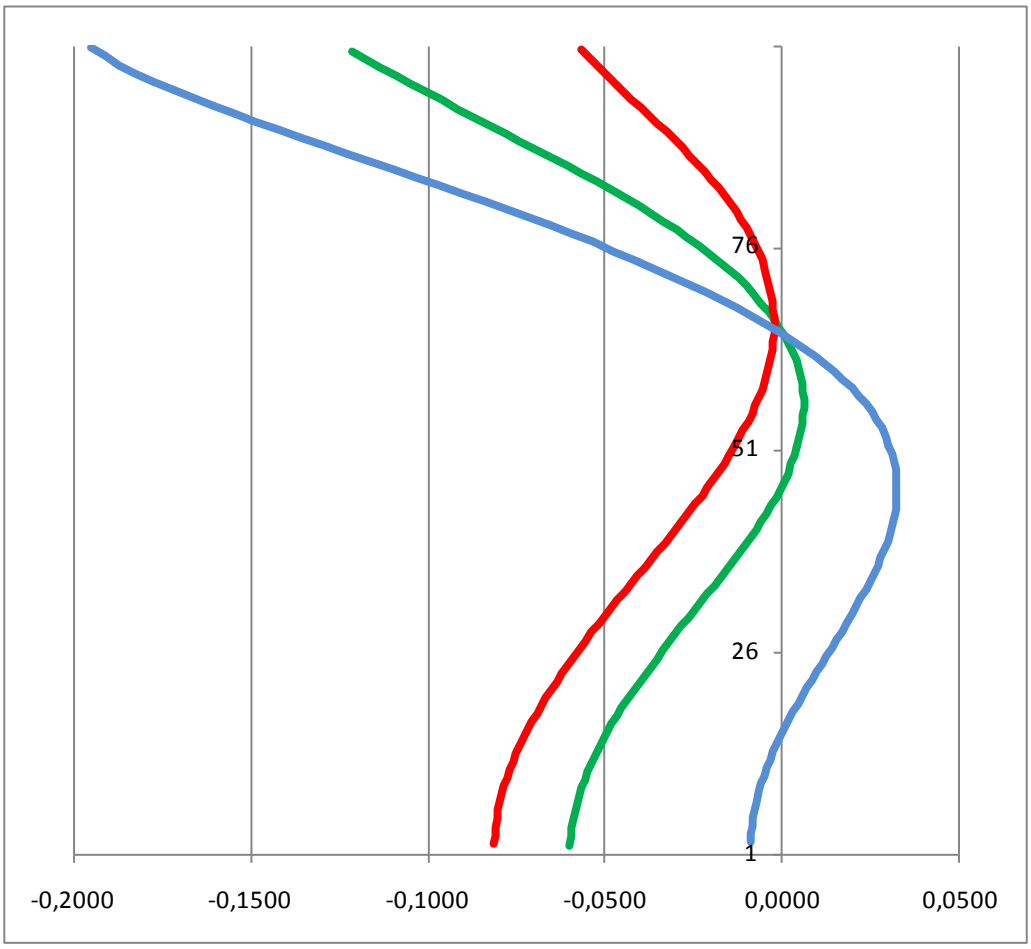
1.4.1 Décalage des meilleurs foci sur l'axe

Rouge 635 nm	0
Vert 543 nm	-110 µm
Bleu 473 nm	-80 µm

Il y a plusieurs manifestations du chromatisme en optique. La plus visible est le décalage de mise en point pour chaque couleur qui est donné ici. Cela correspond à la position des meilleurs points de focalisation. Ce sont donc les valeurs à utiliser pour compenser le chromatisme sur le système de mise au point.

1.4.2 Sphérochromatisme

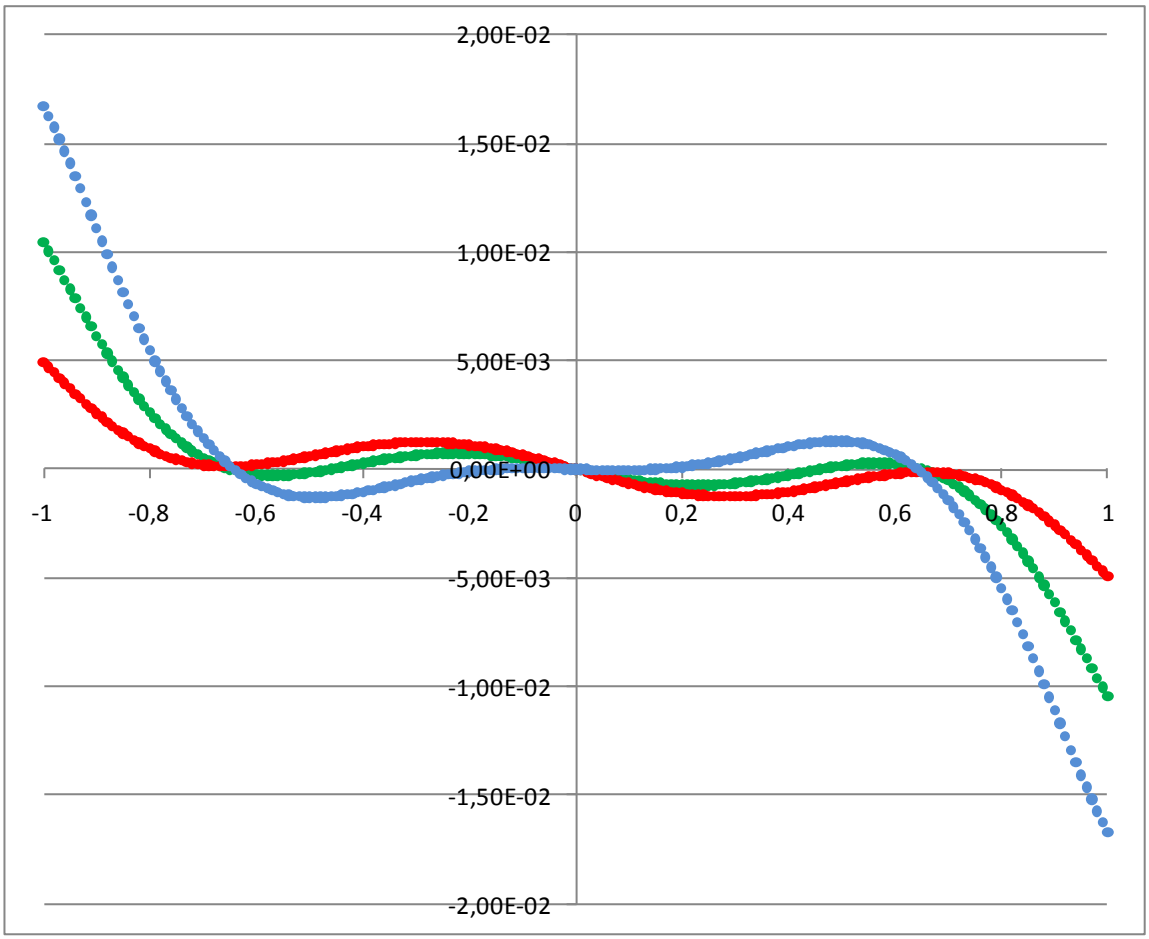
Base de calcul : aberration sphérique 3eme, 5eme et 7eme ordre.



Chromatisme longitudinal, Unités mm

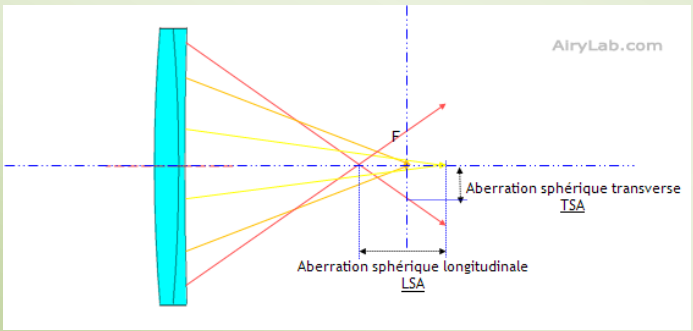
Le chromatisme induit une aberration sphérique en fonction de la longueur d'onde. C'est le sphérochromatisme.
Ici est représenté ce sphérochromatisme pour chaque longueur d'onde. Les courbes indiquent le point de focalisation sur l'axe optique (en abscisse) en fonction de l'origine des rayons par rapport à l'axe optique (ordonnée, en 100% de l'ouverture). Le haut des courbes donne donc le point de focalisation des rayons issus du bord de l'objectif, et le bas de courbes le point pour les rayons proches du centre de l'objectif.
En général, les objectifs sont optimisés pour que les rayons à demi angle (70,7% de l'ouverture) convergent tous au même point pour toutes les couleurs.

© 2010 Airylab SARL, 12 impasse de la cour 83560 Vinon sur Verdon. Tel : 04 92 76 50 89.
Les informations contenues dans ce rapport appartiennent au client et à Airylab. Reproduction soumise à autorisation.



Chromatisme transverse, Unités mm

Le sphérochromatisme peut aussi être exprimé dans l'axe transverse à l'axe optique. Cette représentation est plus intéressante car elle donne la taille du chromatisme tel qu'il apparaîtra sur un capteur de caméra ou sur la rétine.
Dans le cas présenté ici, le bleu donnera une tâche de 17µm de rayon, le vert 10µm et le rouge 5µm. En revanche, on peut constater que seuls les rayons au delà de 70% de l'ouverture amènent un sphérochromatisme significatif. Dans ce cas, la lunette est bien conçue et ces courbes sont typiques d'un instrument de bonne qualité. Dans d'autres cas, il sera intéressant de voir si diaphragmer l'objectif permet de limiter le chromatisme de manière significative.
Chromatisme transverse et longitudinal sont deux représentations de la même aberration : l'aberration sphérique due au chromatisme.



© 2010 Airylab SARL, 12 impasse de la cour 83560 Vinon sur Verdon. Tel : 04 92 76 50 89.
Les informations contenues dans ce rapport appartiennent au client et à Airylab. Reproduction soumise à autorisation.

Les mesures sont faites entre 0 (centre du champ) et 21mm (bord du champ pour un capteur 24x36mm). Il est possible de voir sur quel champ la lunette fournit 100% de lumière (cercle de pleine

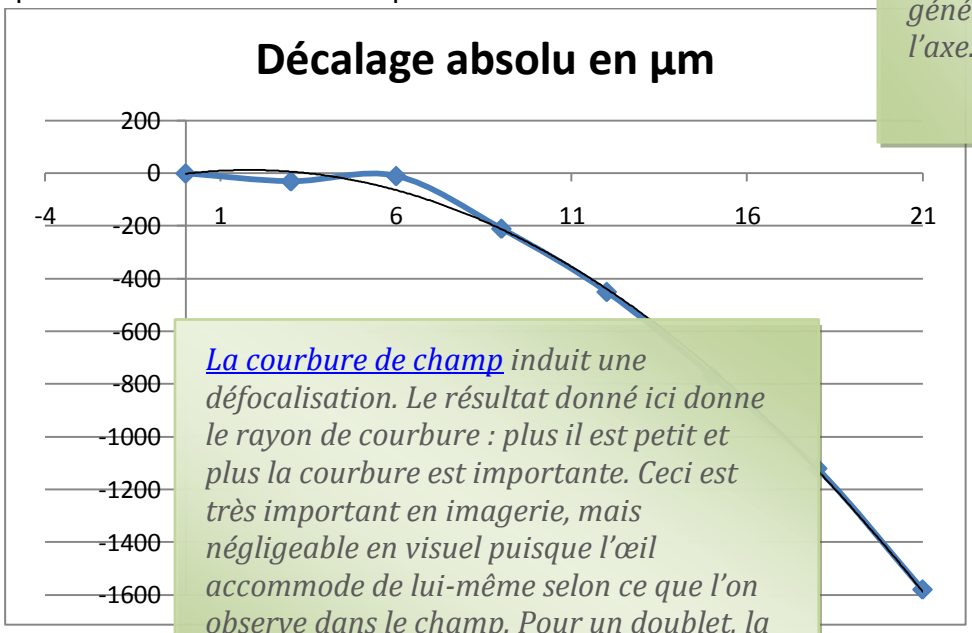
Les mesures précédentes ont été faites sur l'axe optique : elle concerne donc un objet centré dans le champ de l'instrument. Il est aussi possible – et souhaitable – de vérifier le fonctionnement de [l'instrument sur le reste du champ] qui est en général moins bon que sur l'axe.

1.5 Mesure dans le champ à 635nm

1.5.1 Courbure de champ

Mesure de 0 à 21mm (diagonale de 42mm correspondant au format 24x36mm)
Cercle de pleine lumière >42 mm

Rayon de courbure de Petzval mesuré : 120mm
Décalage du point à 21mm de l'axe : 1580µm



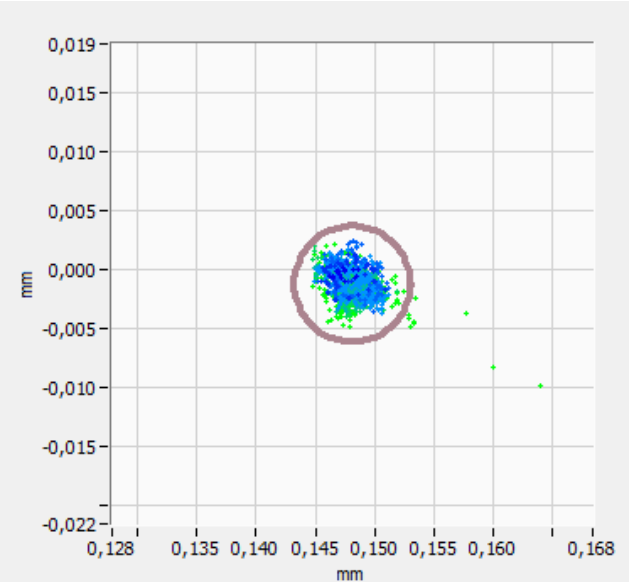
[La courbure de champ] induit une défocalisation. Le résultat donné ici donne le rayon de courbure : plus il est petit et plus la courbure est importante. Ceci est très important en imagerie, mais négligeable en visuel puisque l'œil accommode de lui-même selon ce que l'on observe dans le champ. Pour un doublet, la valeur du rayon est environ 1/3 de la focale.

1.5.2 Spot diagram

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).

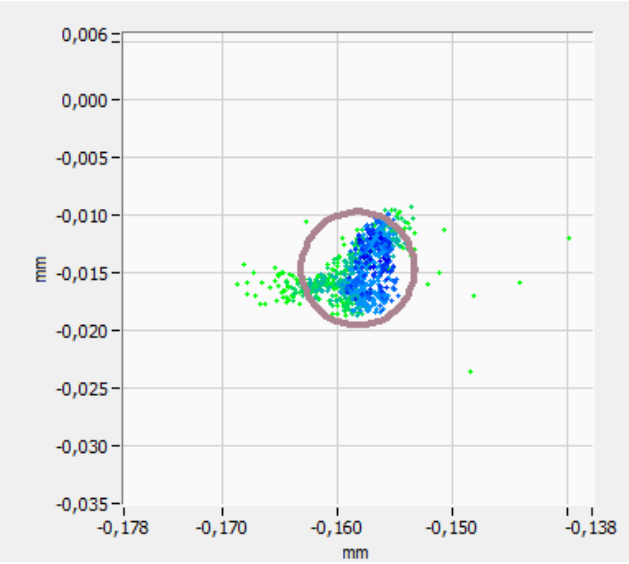
Sur l'axe

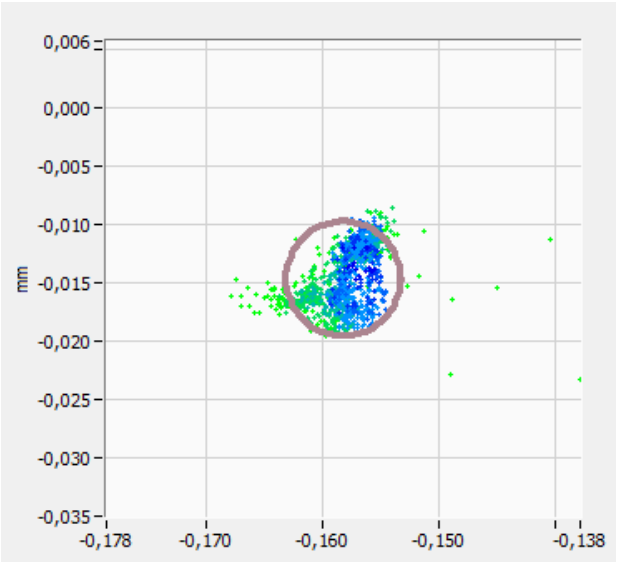
© 2010 Airylab SARL, 12 impasse de la cour 83560 Vinon sur Verdon. Tel : 04 92 76 50 89.
Les informations contenues dans ce rapport appartiennent au client et à Airylab. Reproduction soumise à autorisation.



Les spot diagrams représentent les points d'impact de rayons issus de différents points de l'objectif. Le HASO d'Airylab donne la position de plus de 1000 points. Ces graphiques permettent de vérifier s'il est intéressant par exemple de diaphragmer l'optique dans le cas où les points verts seraient trop éloignés de la tâche de diffraction théorique.
Ils donnent également la taille réelle de la figure de diffraction. Ici quasiment tous les rayons convergent dans la tâche : l'optique satisfait le critère de Couder.

6mm



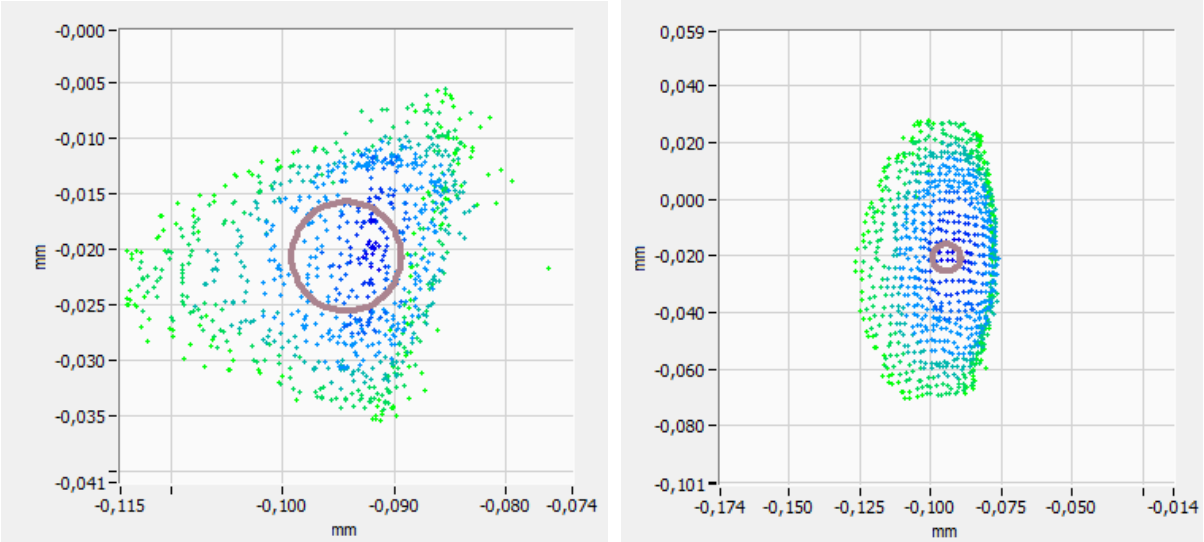


Focalisé / défocalisé

12mm

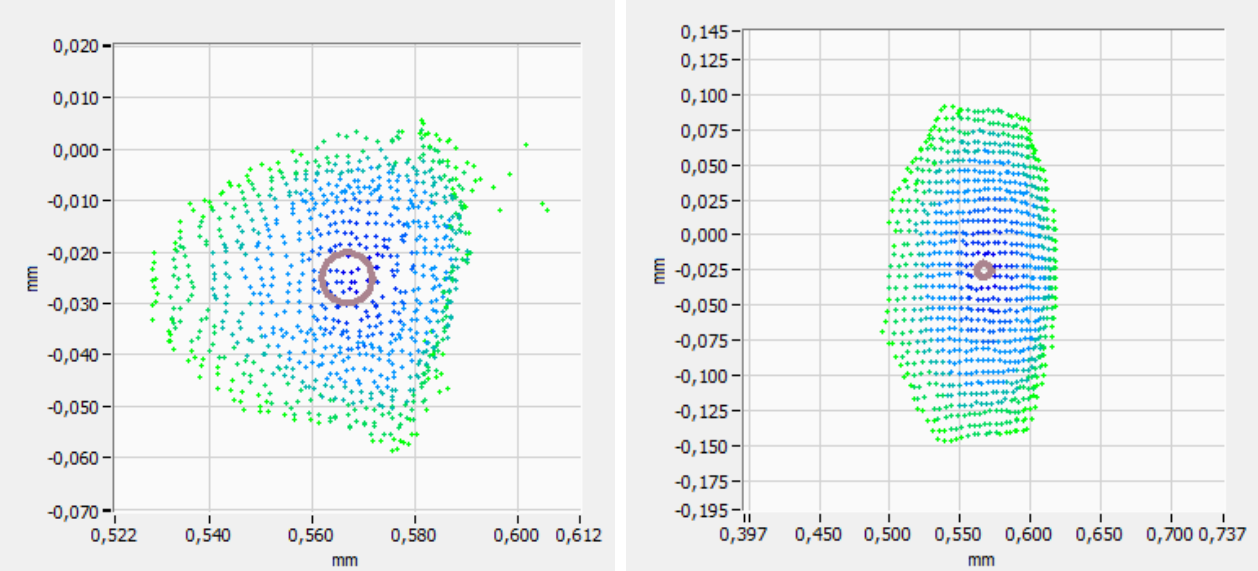
Dans le champ, deux spot diagrams sont donnés. L'un ne tient pas compte de la courbure de champ : c'est une application visuelle.
Le second prend en compte la courbure de champ vue précédemment : c'est le cas de l'utilisation d'une caméra. La taille de la tâche correspond à l'image d'une étoile sur le capteur lorsque la focalisation est faite au centre du champ: il est possible de vérifier sa taille par rapport à la taille des photosites du capteur utilisé.

© 2010 Airylab SARL, 12 impasse de la cour 83560 Vinon sur Verdon. Tel : 04 92 76 50 89.
Les informations contenues dans ce rapport appartiennent au client et à Airylab. Reproduction soumise à autorisation.



Focalisé / défocalisé

18mm

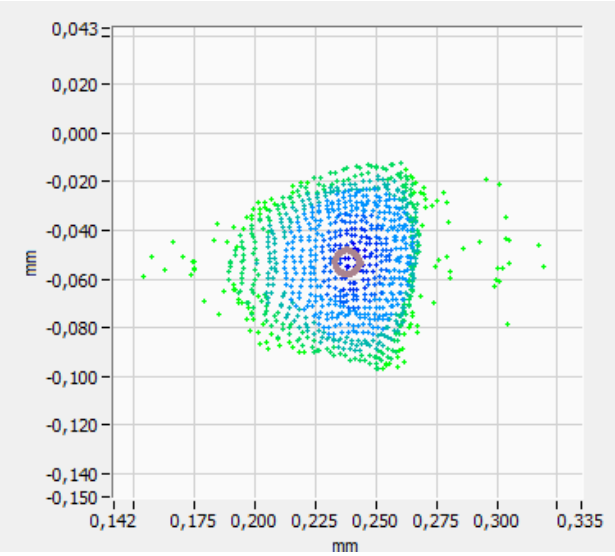


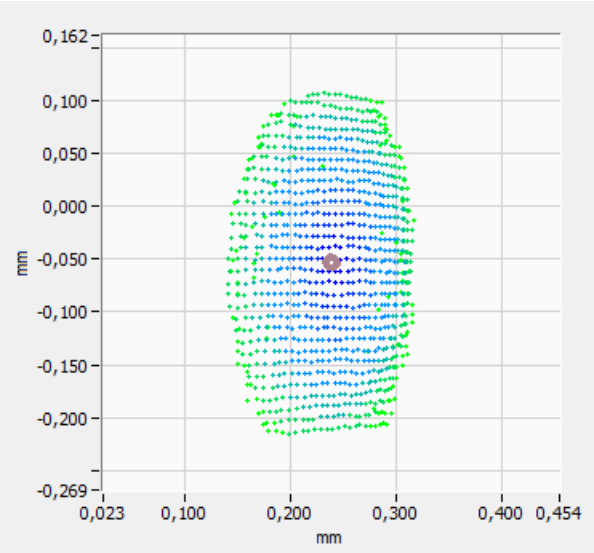
Focalisé / défocalisé

21mm

Plus on s'écarte du centre du champ et plus les [aberrations de champ](#) prennent de poids et augmente la taille d'image d'une étoile. Très vite avec une lunette les tâches deviennent trop importantes à cause de la courbure et des aberrations de champ pour une utilisation en imagerie sans dispositif correcteur.

© 2010 Airylab SARL, 12 impasse de la cour 83560 Vinon sur Verdon. Tel : 04 92 76 50 89.
Les informations contenues dans ce rapport appartiennent au client et à Airylab. Reproduction soumise à autorisation.





Focalisé / défocalisé

© 2010 Airylab SARL, 12 impasse de la cour 83560 Vinon sur Verdon. Tel : 04 92 76 50 89.
Les informations contenues dans ce rapport appartiennent au client et à Airylab. Reproduction soumise à autorisation.

2 Mesure avec réducteur 4.2 backfocus 56mm

Focale : 252mm
Nombre d'ouverture : 4,2
Taille théorique de la tâche de diffraction :

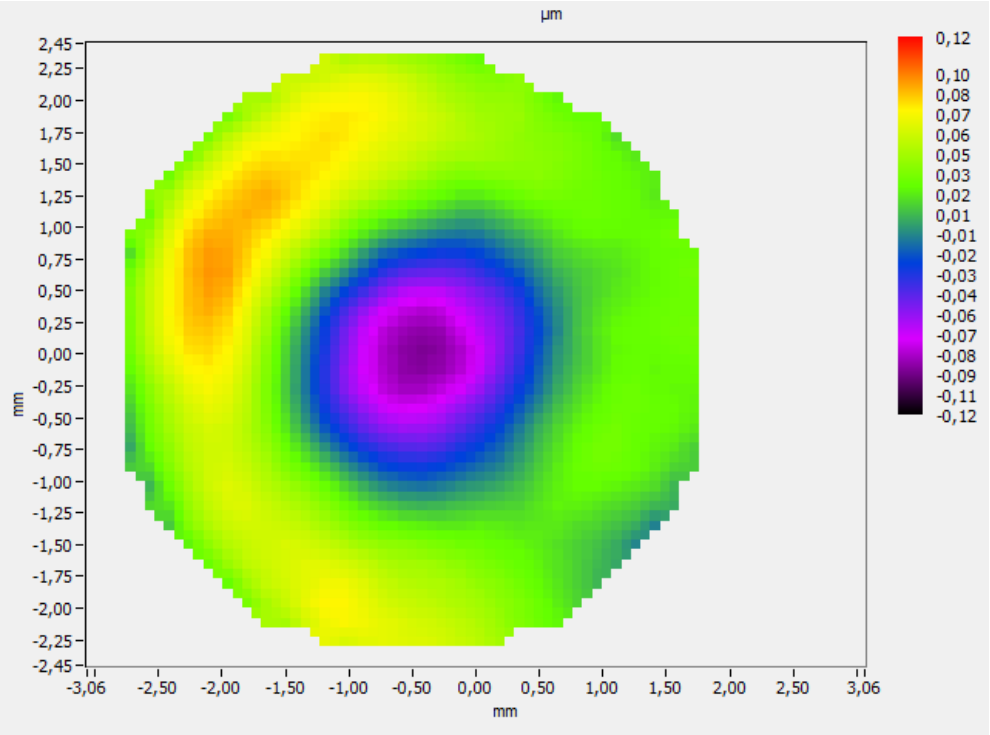
Focale	252
Diamètre	60
Longueur d'onde	Taille PSF µm
635	6,51
543	5,56
473	4,85

Airylab peut tester les instruments avec des compléments optiques. Le back focus optimal est respecté : 56mm dans le cas présent.

Fréquence théorique de coupure à 635nm : 367 cycles/mm
Fréquence théorique de coupure à 543nm : 445 cycles/mm
Fréquence théorique de coupure à 473nm : 494 cycles/mm

2.1 Mesure à 635nm

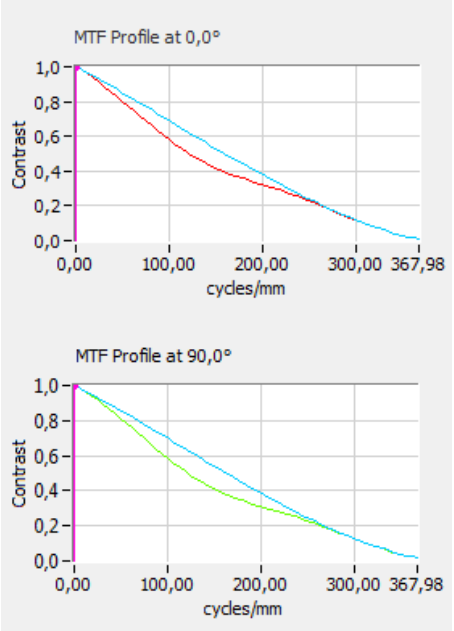
2.1.1 Front d'onde



Ratio de Strehl : 0,852
Erreur PTV : 185 nm
Erreur RMS : 40 nm

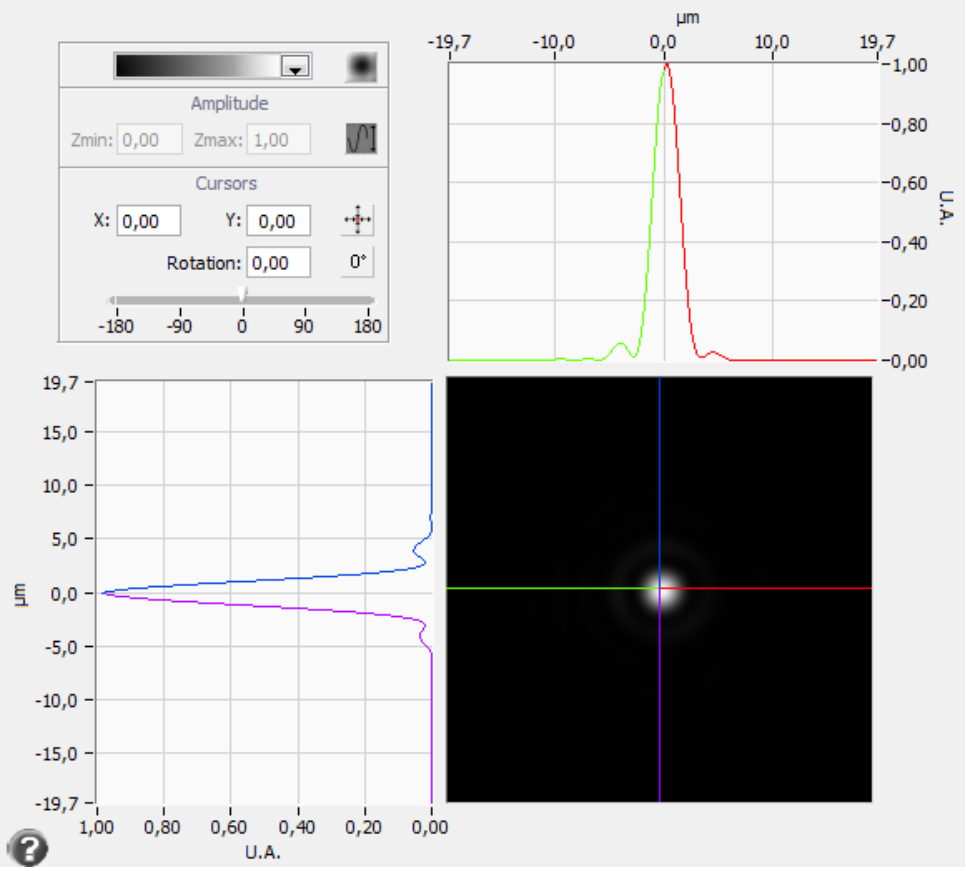
© 2010 Airylab SARL, 12 impasse de la cour 83560 Vinon sur Verdon. Tel : 04 92 76 50 89.
Les informations contenues dans ce rapport appartiennent au client et à Airylab. Reproduction soumise à autorisation.

2.1.2 Fonction de transfert de modulation



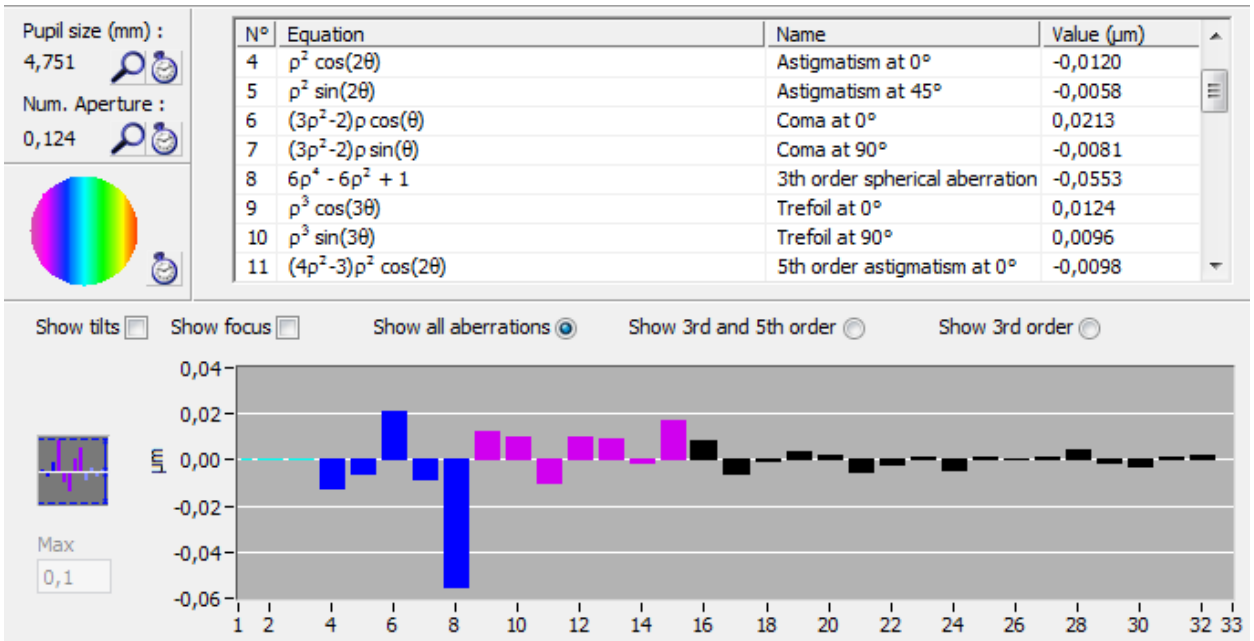
En bleu la MTF parfaite

2.1.3 Réponse percussionnelle



© 2010 Airylab SARL, 12 impasse de la cour 83560 Vinon sur Verdon. Tel : 04 92 76 50 89.
Les informations contenues dans ce rapport appartiennent au client et à Airylab. Reproduction soumise à autorisation.

2.1.4 Décomposition de Zernike



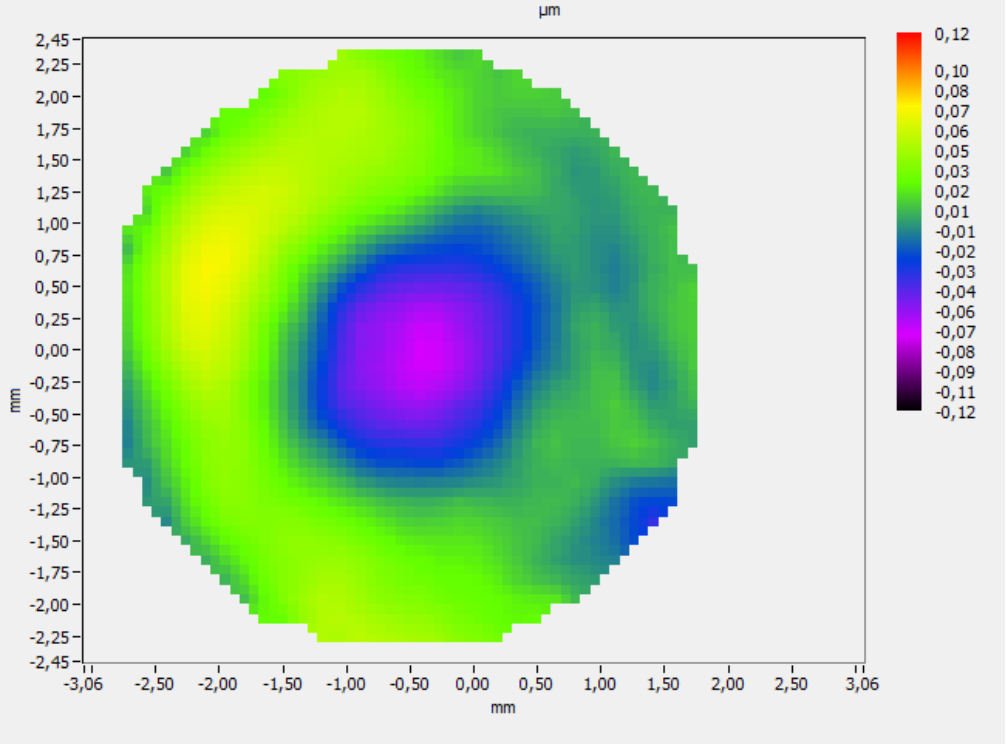
N°	Equation	Name	Value (µm)
4	$\rho^2 \cos(2\theta)$	Astigmatism at 0°	-0,0120
5	$\rho^2 \sin(2\theta)$	Astigmatism at 45°	-0,0058
6	$(3\rho^2-2)\rho \cos(\theta)$	Coma at 0°	0,0213
7	$(3\rho^2-2)\rho \sin(\theta)$	Coma at 90°	-0,0081
8	$6\rho^4 - 6\rho^2 + 1$	3th order spherical aberration	-0,0553
9	$\rho^3 \cos(3\theta)$	Trefoil at 0°	0,0124
10	$\rho^3 \sin(3\theta)$	Trefoil at 90°	0,0096
11	$(4\rho^2-3)\rho^2 \cos(2\theta)$	5th order astigmatism at 0°	-0,0098

L'utilisation du réducteur introduit une aberration sphérique. Si elle trop importante, elle peut dégrader fortement la qualité de l'optique. En revanche une faible aberration sphérique peut être introduite à dessein pour facilité la mise au point sur un système très ouvert comme celui-ci (N = 4.2). Le spot diagram doit permettre de vérifier ce point mais les valeurs PTV et RMS des erreurs sur le front d'onde sont d'or et déjà bonnes.

© 2010 Airylab SARL, 12 impasse de la cour 83560 Vinon sur Verdon. Tel : 04 92 76 50 89.
Les informations contenues dans ce rapport appartiennent au client et à Airylab. Reproduction soumise à autorisation.

2.2 Mesure à 543nm

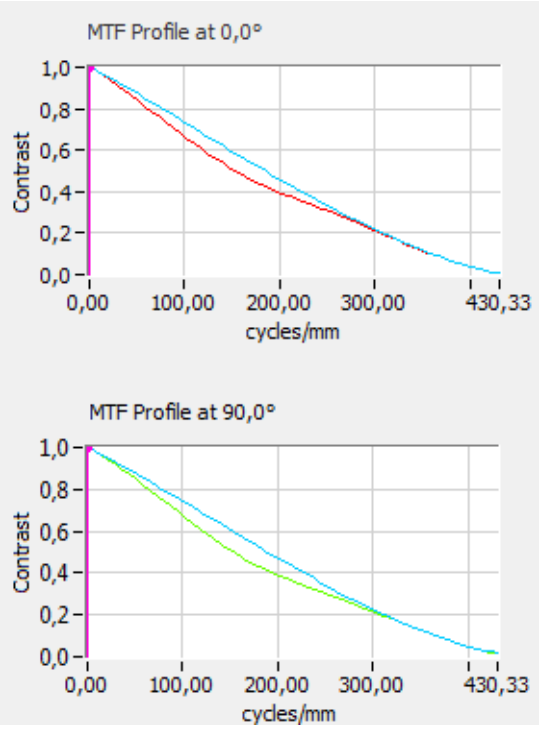
2.2.1 Front d'onde



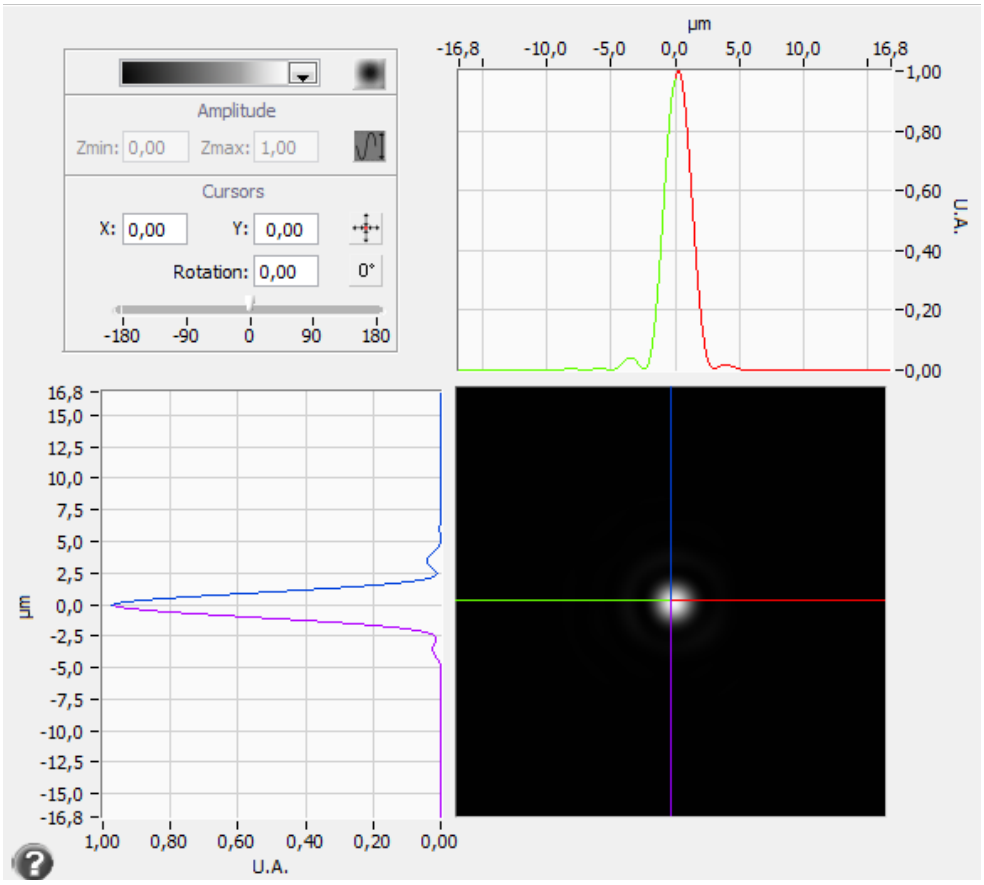
Ratio de Strehl : 0,884
Erreur PTV : 143 nm
Erreur RMS : 30 nm

2.2.2 Fonction de transfert de modulation

© 2010 Airylab SARL, 12 impasse de la cour 83560 Vinon sur Verdon. Tel : 04 92 76 50 89.
Les informations contenues dans ce rapport appartiennent au client et à Airylab. Reproduction soumise à autorisation.

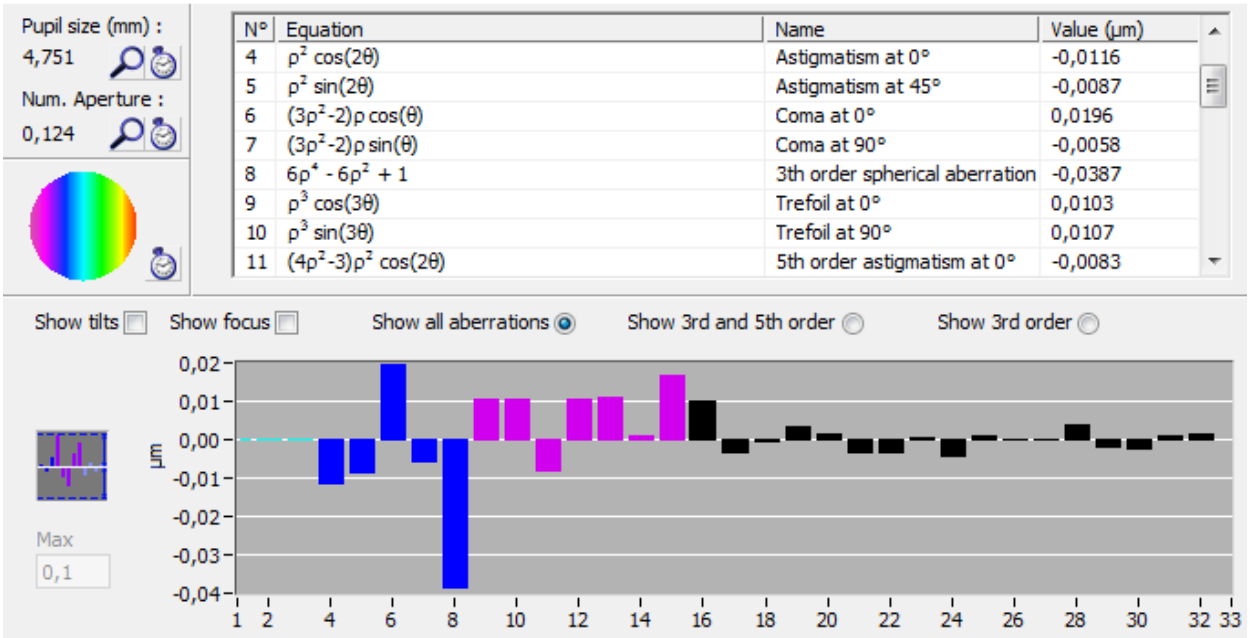


2.2.3 Réponse percussionnelle



© 2010 Airylab SARL, 12 impasse de la cour 83560 Vinon sur Verdon. Tel : 04 92 76 50 89.
Les informations contenues dans ce rapport appartiennent au client et à Airylab. Reproduction soumise à autorisation.

2.2.4 Décomposition de Zernike

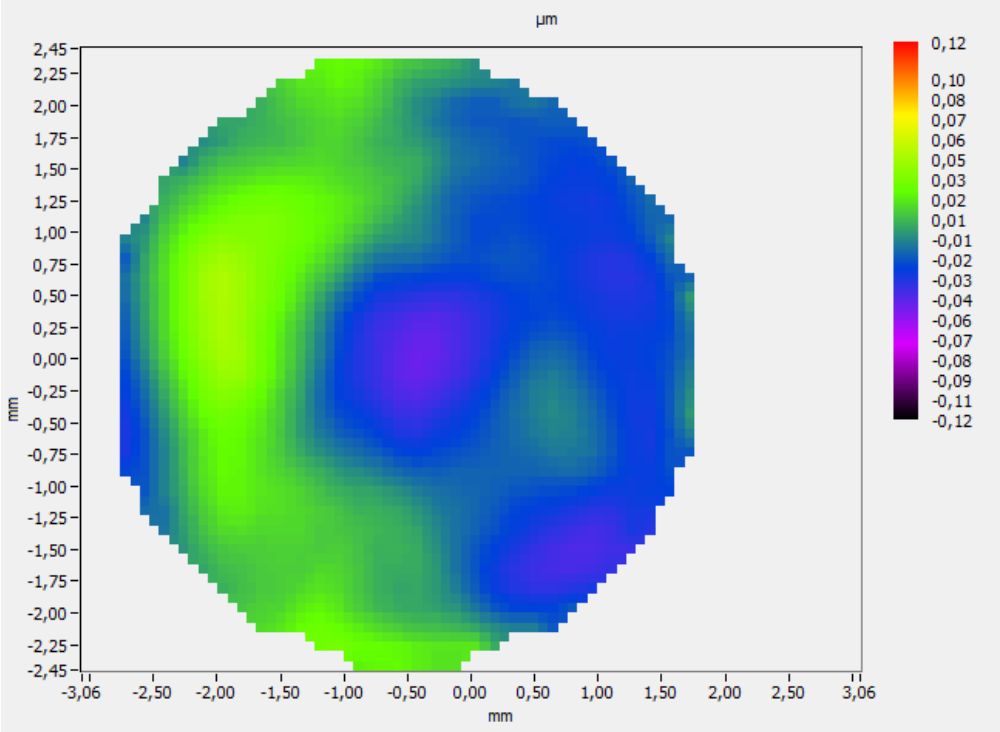


N°	Equation	Name	Value (µm)
4	$\rho^2 \cos(2\theta)$	Astigmatism at 0°	-0,0116
5	$\rho^2 \sin(2\theta)$	Astigmatism at 45°	-0,0087
6	$(3\rho^2-2)\rho \cos(\theta)$	Coma at 0°	0,0196
7	$(3\rho^2-2)\rho \sin(\theta)$	Coma at 90°	-0,0058
8	$6\rho^4 - 6\rho^2 + 1$	3th order spherical aberration	-0,0387
9	$\rho^3 \cos(3\theta)$	Trefoil at 0°	0,0103
10	$\rho^3 \sin(3\theta)$	Trefoil at 90°	0,0107
11	$(4\rho^2-3)\rho^2 \cos(2\theta)$	5th order astigmatism at 0°	-0,0083

© 2010 Airylab SARL, 12 impasse de la cour 83560 Vinon sur Verdon. Tel : 04 92 76 50 89.
Les informations contenues dans ce rapport appartiennent au client et à Airylab. Reproduction soumise à autorisation.

2.3 Mesure à 473nm

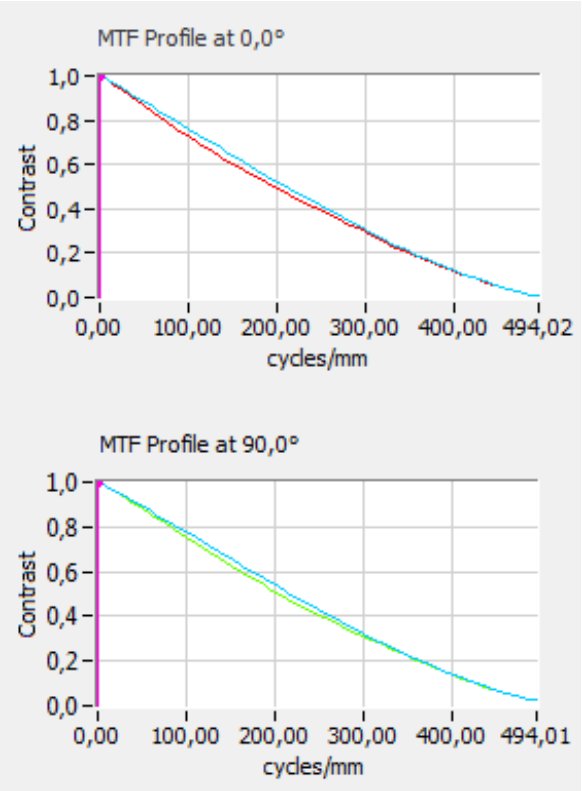
2.3.1 Front d'onde



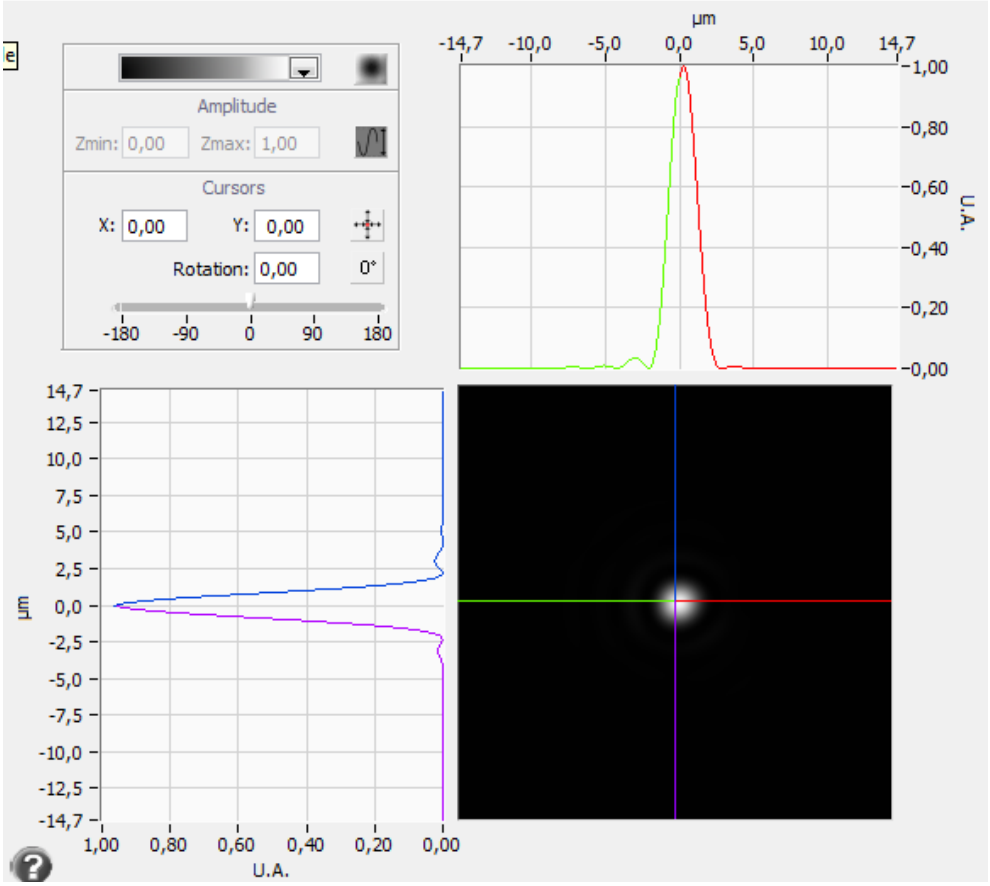
Ratio de Strehl : 0,925
Erreur PTV : 96 nm,
Erreur RMS : 21 nm

2.3.2 Fonction de transfert de modulation

© 2010 Airylab SARL, 12 impasse de la cour 83560 Vinon sur Verdon. Tel : 04 92 76 50 89.
Les informations contenues dans ce rapport appartiennent au client et à Airylab. Reproduction soumise à autorisation.

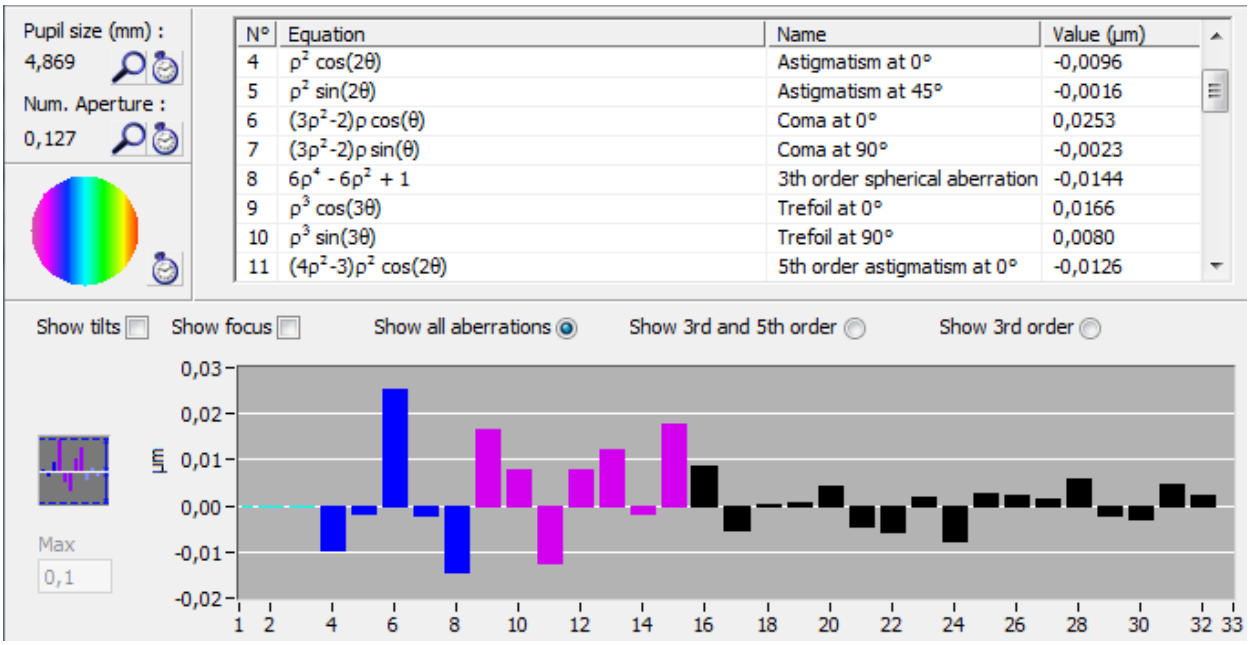


2.3.3 Réponse percussionnelle



© 2010 Airylab SARL, 12 impasse de la cour 83560 Vinon sur Verdon. Tel : 04 92 76 50 89.
Les informations contenues dans ce rapport appartiennent au client et à Airylab. Reproduction soumise à autorisation.

2.3.4 Décomposition de Zernike



N°	Equation	Name	Value (µm)
4	$\rho^2 \cos(2\theta)$	Astigmatism at 0°	-0,0096
5	$\rho^2 \sin(2\theta)$	Astigmatism at 45°	-0,0016
6	$(3\rho^2-2)\rho \cos(\theta)$	Coma at 0°	0,0253
7	$(3\rho^2-2)\rho \sin(\theta)$	Coma at 90°	-0,0023
8	$6\rho^4 - 6\rho^2 + 1$	3th order spherical aberration	-0,0144
9	$\rho^3 \cos(3\theta)$	Trefoil at 0°	0,0166
10	$\rho^3 \sin(3\theta)$	Trefoil at 90°	0,0080
11	$(4\rho^2-3)\rho^2 \cos(2\theta)$	5th order astigmatism at 0°	-0,0126

© 2010 Airylab SARL, 12 impasse de la cour 83560 Vinon sur Verdon. Tel : 04 92 76 50 89.
Les informations contenues dans ce rapport appartiennent au client et à Airylab. Reproduction soumise à autorisation.

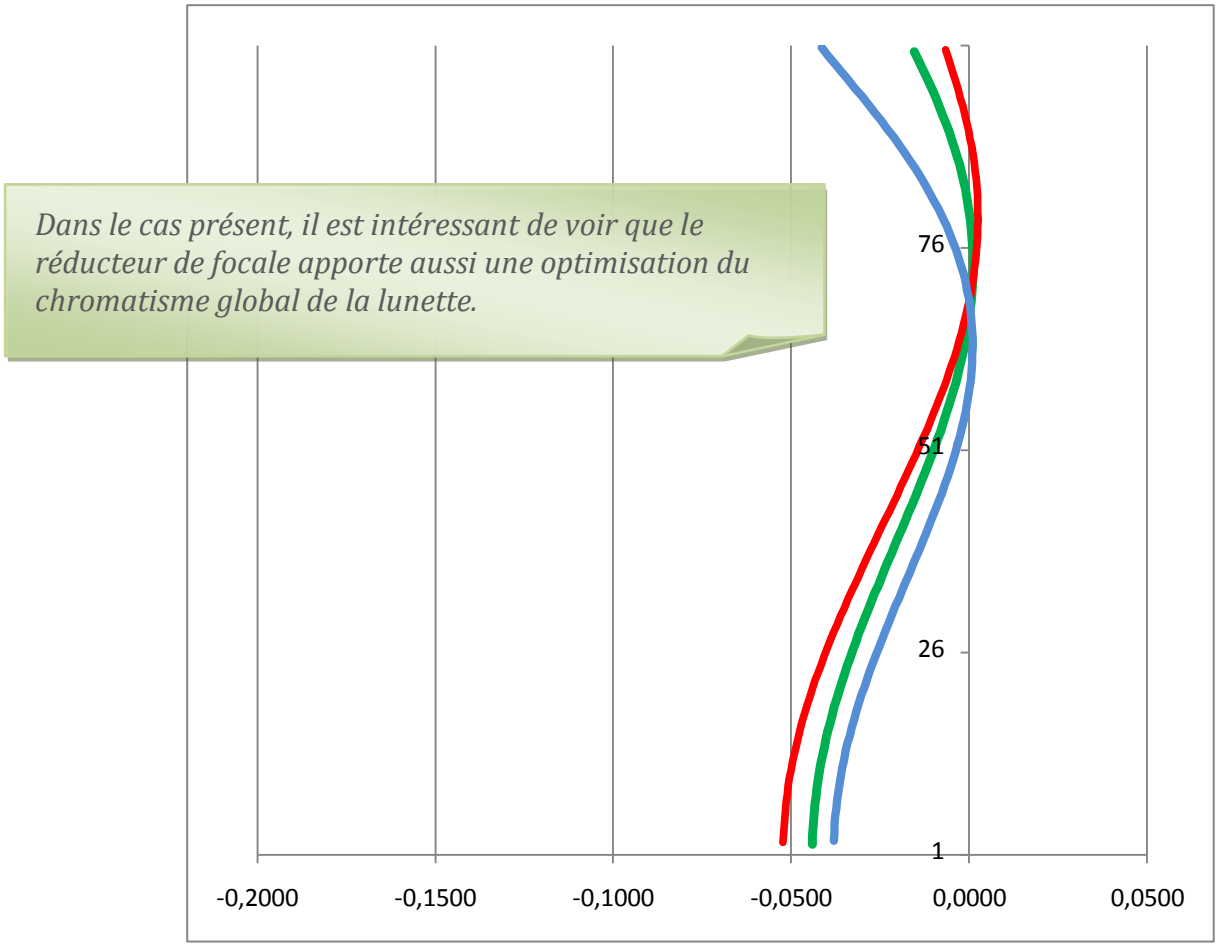
2.4 Chromatisme

2.4.1 Décalage des meilleurs foci sur l'axe

Rouge 635 nm	0
Vert 543 nm	-90 µm
Bleu 473 nm	-80 µm

2.4.2 Sphérochromatisme

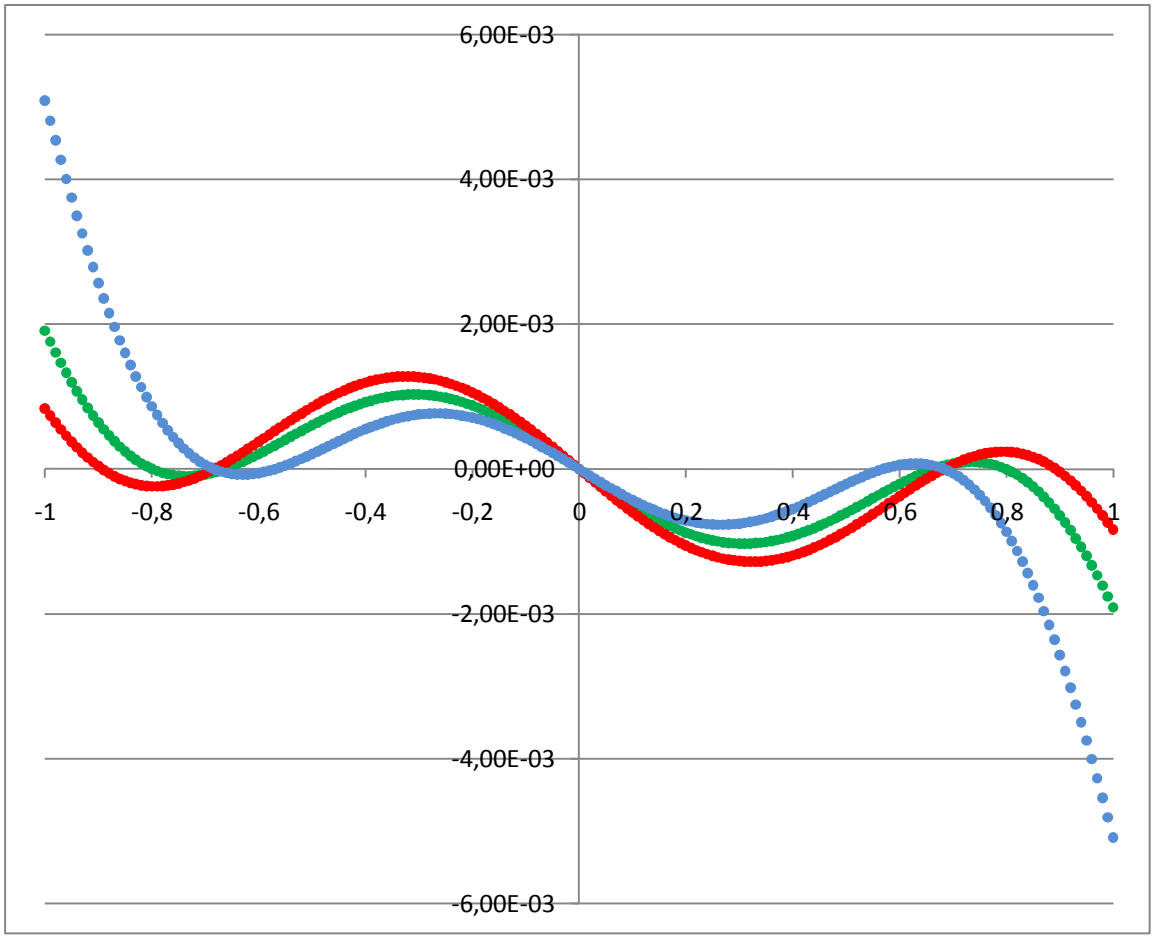
Base de calcul : aberration sphérique 3eme, 5eme et 7eme ordre.



Dans le cas présent, il est intéressant de voir que le réducteur de focale apporte aussi une optimisation du chromatisme global de la lunette.

Chromatisme longitudinal, Unités mm

© 2010 Airylab SARL, 12 impasse de la cour 83560 Vinon sur Verdon. Tel : 04 92 76 50 89.
Les informations contenues dans ce rapport appartiennent au client et à Airylab. Reproduction soumise à autorisation.



Chromatisme transverse, Unités mm

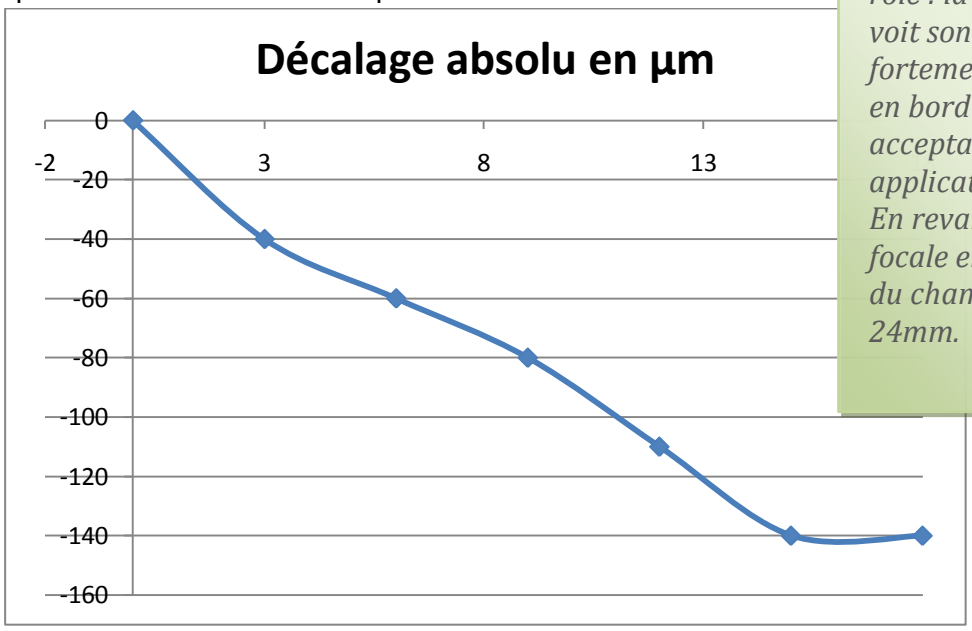
© 2010 Airylab SARL, 12 impasse de la cour 83560 Vinon sur Verdon. Tel : 04 92 76 50 89.
Les informations contenues dans ce rapport appartiennent au client et à Airylab. Reproduction soumise à autorisation.

2.5 Mesure dans le champ à 635nm

2.5.1 Courbure de champ

Mesure de 0 à 18mm (diagonale de 42mm correspondant au format 24x36mm)
Cercle de pleine lumière : 24mm

Rayon de courbure de Petzval mesuré : 2160mm
Décalage du point à 18mm de l'axe : 140µm



Pour cet instrument le réducteur correcteur joue son rôle : la courbure de champ voit son rayon augmenté très fortement et la défocalisation en bord de champ devient acceptable pour des applications d'imagerie.
En revanche la réduction de focale entraine une réduction du champ de pleine lumière à 24mm.

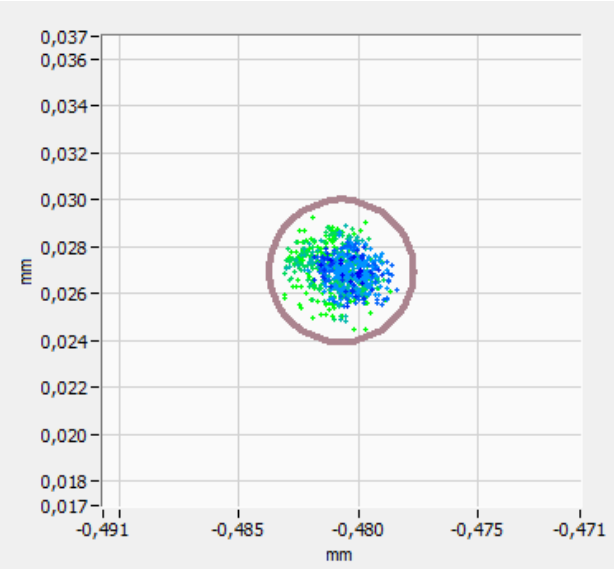
2.5.2 Spot diagram

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

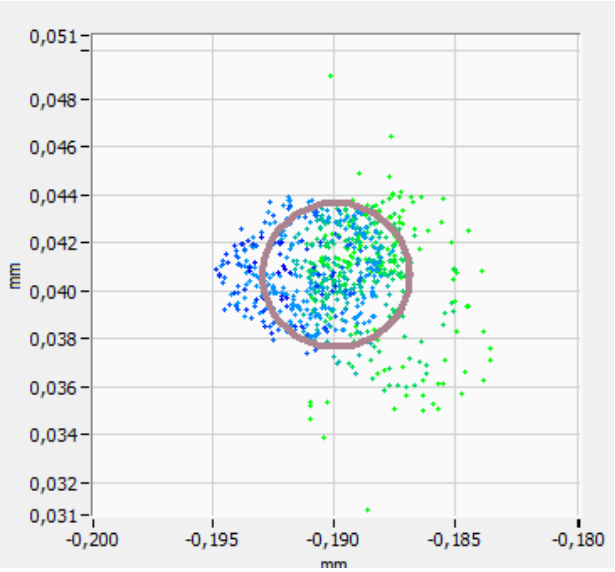
Les points verts représentent les rayons marginaux (extérieur de la pupille), les bleus les rayons paraxiaux (proche de l'axe optique).
Les *spot diagrams* dans le champ sont donnés sans prendre en compte la courbure de champ à gauche (cas d'une utilisation avec un oculaire), et avec la défocalisation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

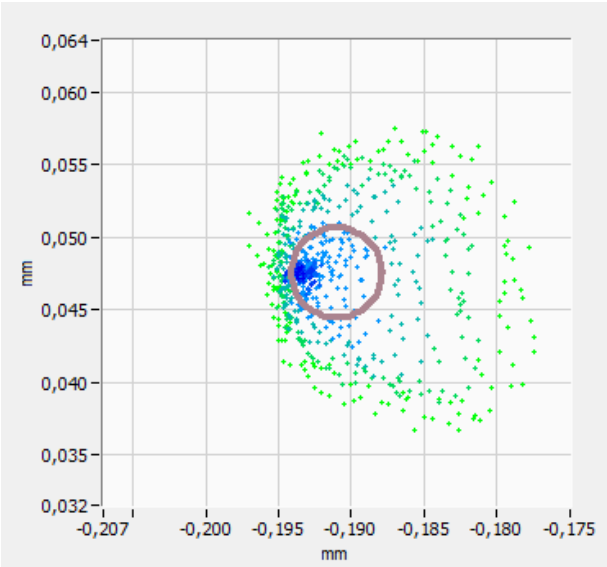
Sur l'axe

© 2010 Airylab SARL, 12 impasse de la cour 83560 Vinon sur Verdon. Tel : 04 92 76 50 89.
Les informations contenues dans ce rapport appartiennent au client et à Airylab. Reproduction soumise à autorisation.



6mm

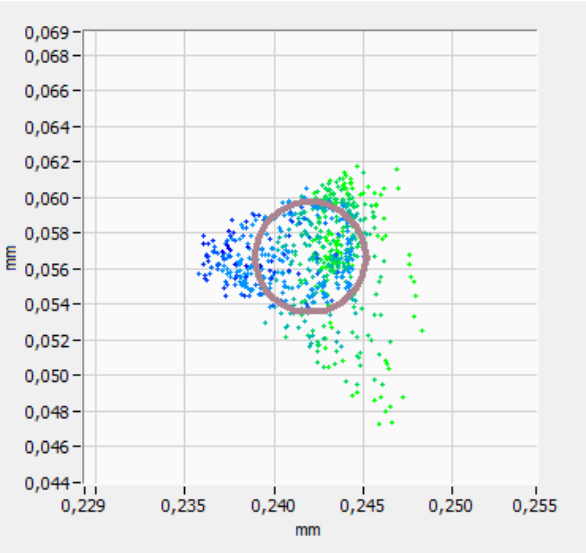


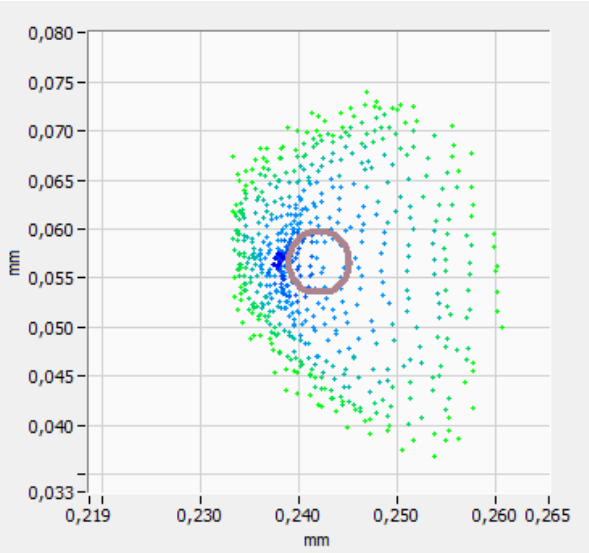


Focalisé / défocalisé

12mm

© 2010 Airylab SARL, 12 impasse de la cour 83560 Vinon sur Verdon. Tel : 04 92 76 50 89.
Les informations contenues dans ce rapport appartiennent au client et à Airylab. Reproduction soumise à autorisation.

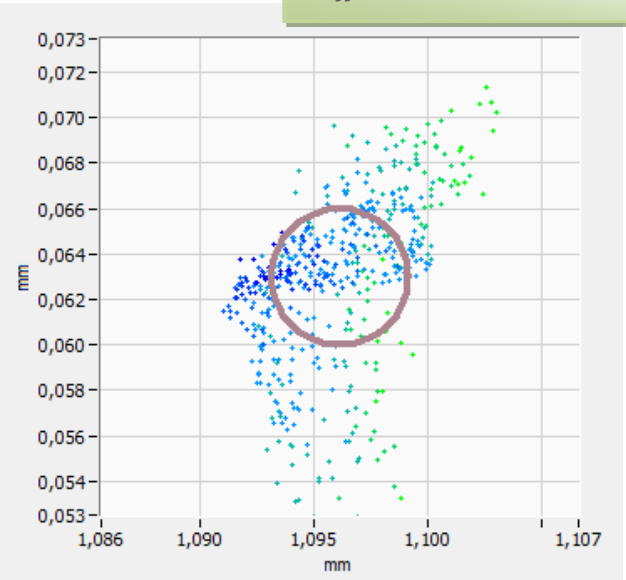


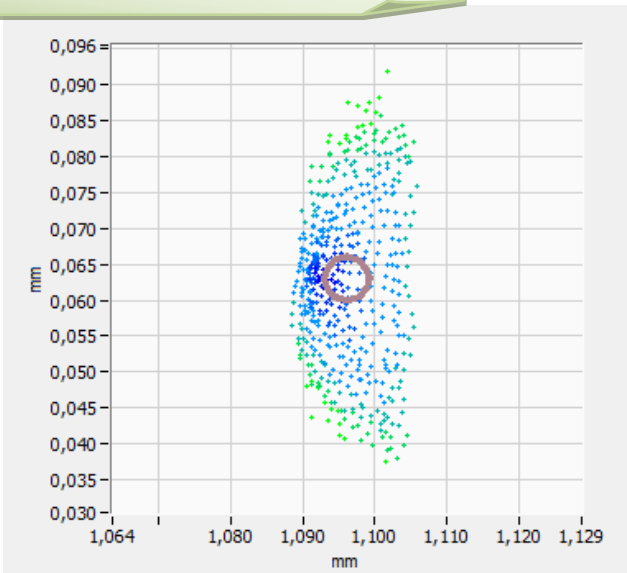


Focalisé / défocalisé

18mm

Le réducteur réduit fortement la taille des images de diffraction.





Focalisé / défocalisé

© 2010 Airylab SARL, 12 impasse de la cour 83560 Vinon sur Verdon. Tel : 04 92 76 50 89.
Les informations contenues dans ce rapport appartiennent au client et à Airylab. Reproduction soumise à autorisation.

3 Mesure avec aplanisseur 6.2 backfocus 56mm

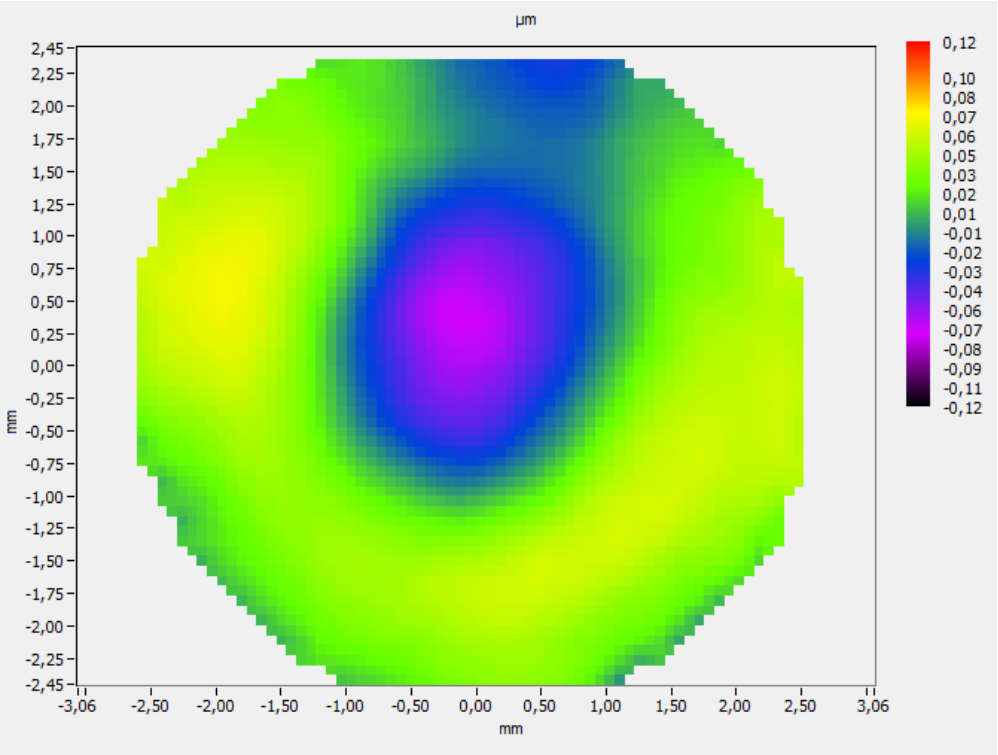
Focale : 372mm
Nombre d'ouverture : 6,2
Taille théorique de la tâche de diffraction :

Focale	372
Diamètre	60
Longueur d'onde	Taille PSF µm
635	9,61
543	8,21
473	7,16

Fréquence théorique de coupure à 635nm : 264 cycles/mm
Fréquence théorique de coupure à 543nm : 309 cycles/mm
Fréquence théorique de coupure à 473nm : 354 cycles/mm

3.1 Mesure à 635nm

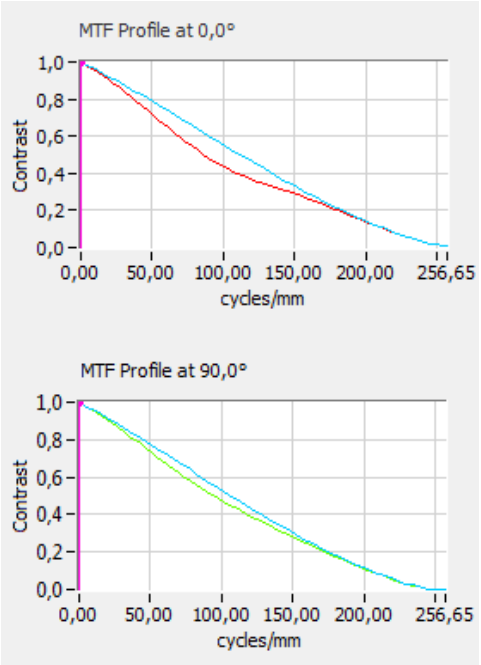
3.1.1 Front d'onde



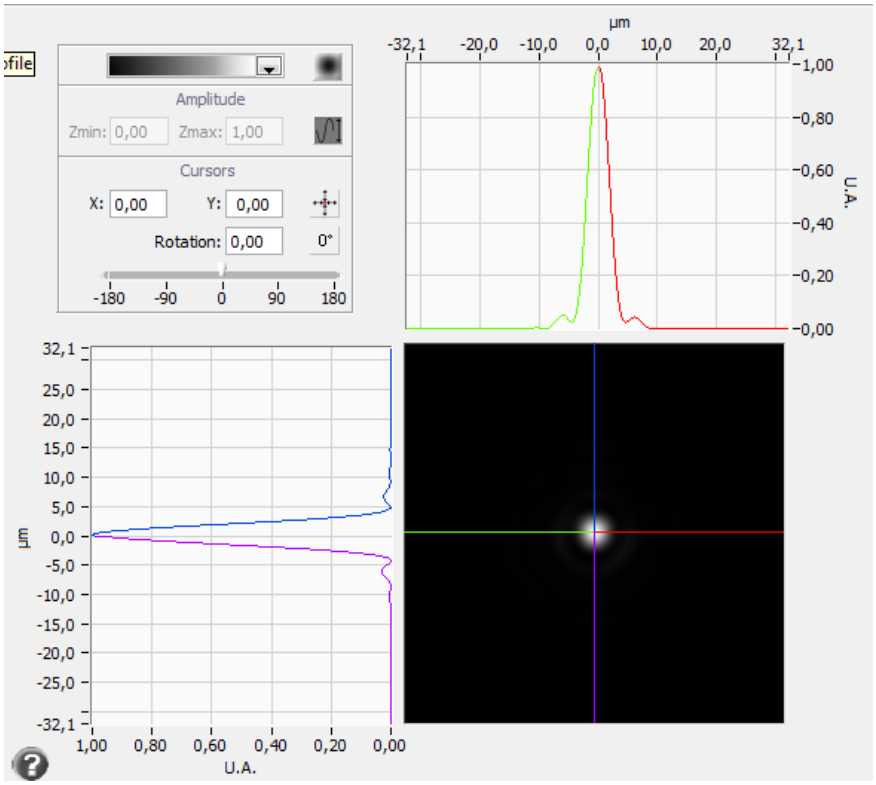
Ratio de Strehl : 0,891
Erreur PTV : 142 nm
Erreur RMS : 34 nm

© 2010 Airylab SARL, 12 impasse de la cour 83560 Vinon sur Verdon. Tel : 04 92 76 50 89.
Les informations contenues dans ce rapport appartiennent au client et à Airylab. Reproduction soumise à autorisation.

3.1.2 Fonction de transfert de modulation

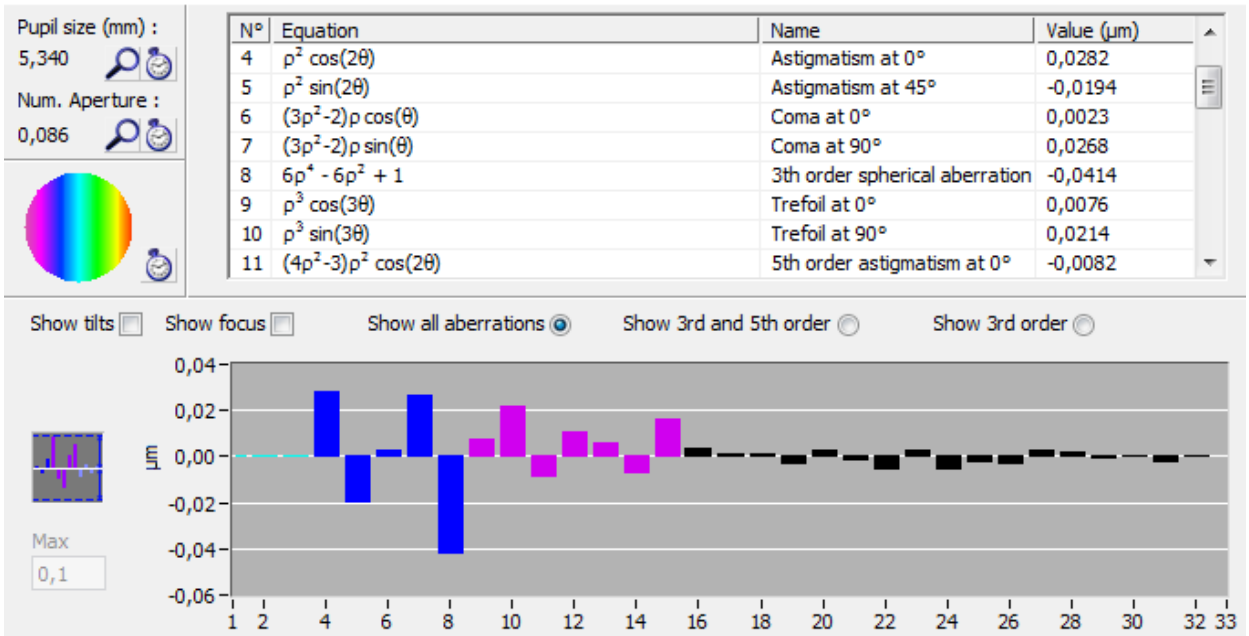


3.1.3 Réponse percussionnelle



© 2010 Airylab SARL, 12 impasse de la cour 83560 Vinon sur Verdon. Tel : 04 92 76 50 89.
Les informations contenues dans ce rapport appartiennent au client et à Airylab. Reproduction soumise à autorisation.

3.1.4 Décomposition de Zernike

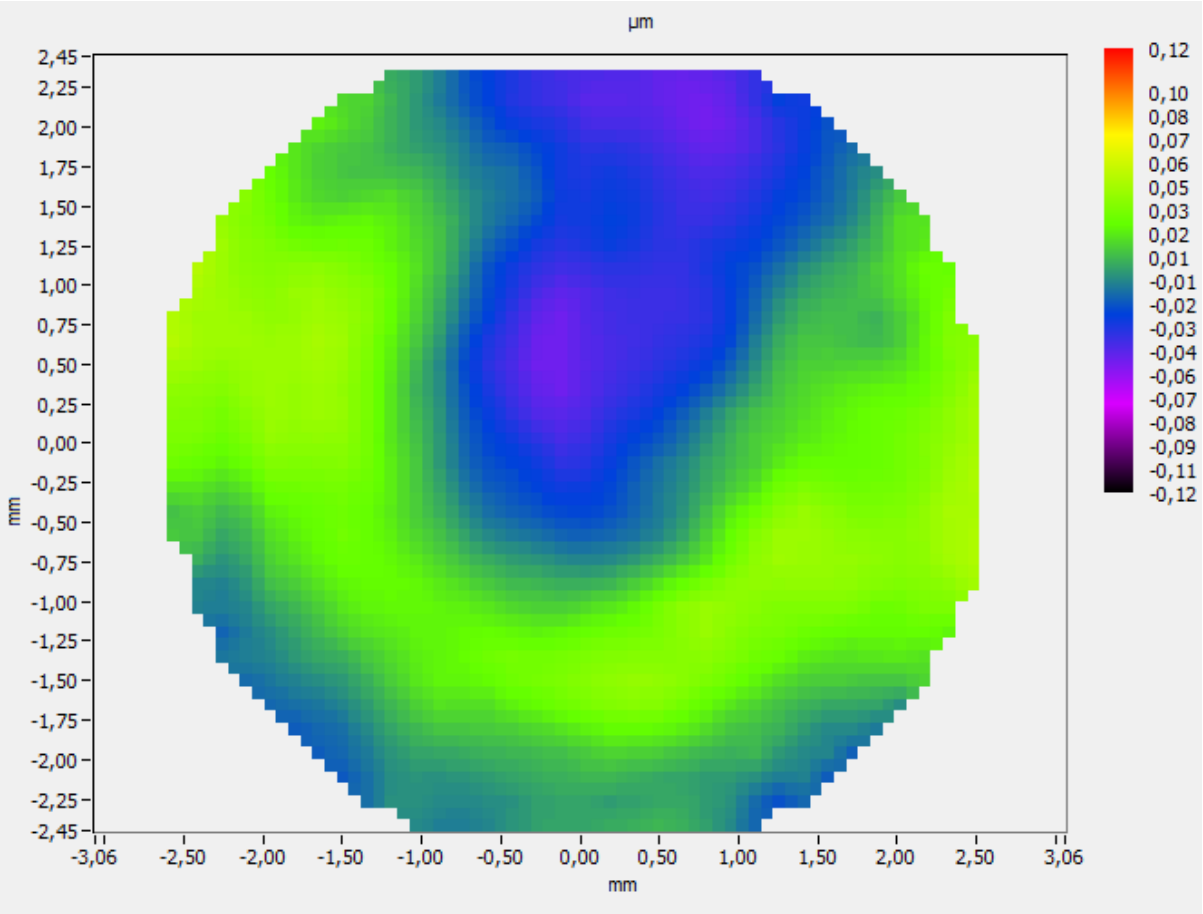


N°	Equation	Name	Value (µm)
4	$\rho^2 \cos(2\theta)$	Astigmatism at 0°	0,0282
5	$\rho^2 \sin(2\theta)$	Astigmatism at 45°	-0,0194
6	$(3\rho^2-2)\rho \cos(\theta)$	Coma at 0°	0,0023
7	$(3\rho^2-2)\rho \sin(\theta)$	Coma at 90°	0,0268
8	$6\rho^4 - 6\rho^2 + 1$	3th order spherical aberration	-0,0414
9	$\rho^3 \cos(3\theta)$	Trefoil at 0°	0,0076
10	$\rho^3 \sin(3\theta)$	Trefoil at 90°	0,0214
11	$(4\rho^2-3)\rho^2 \cos(2\theta)$	5th order astigmatism at 0°	-0,0082

© 2010 Airylab SARL, 12 impasse de la cour 83560 Vinon sur Verdon. Tel : 04 92 76 50 89.
Les informations contenues dans ce rapport appartiennent au client et à Airylab. Reproduction soumise à autorisation.

3.2 Mesure à 543nm

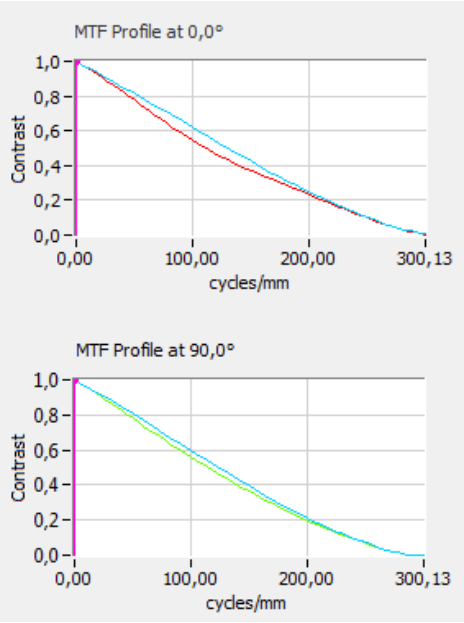
3.2.1 Front d'onde



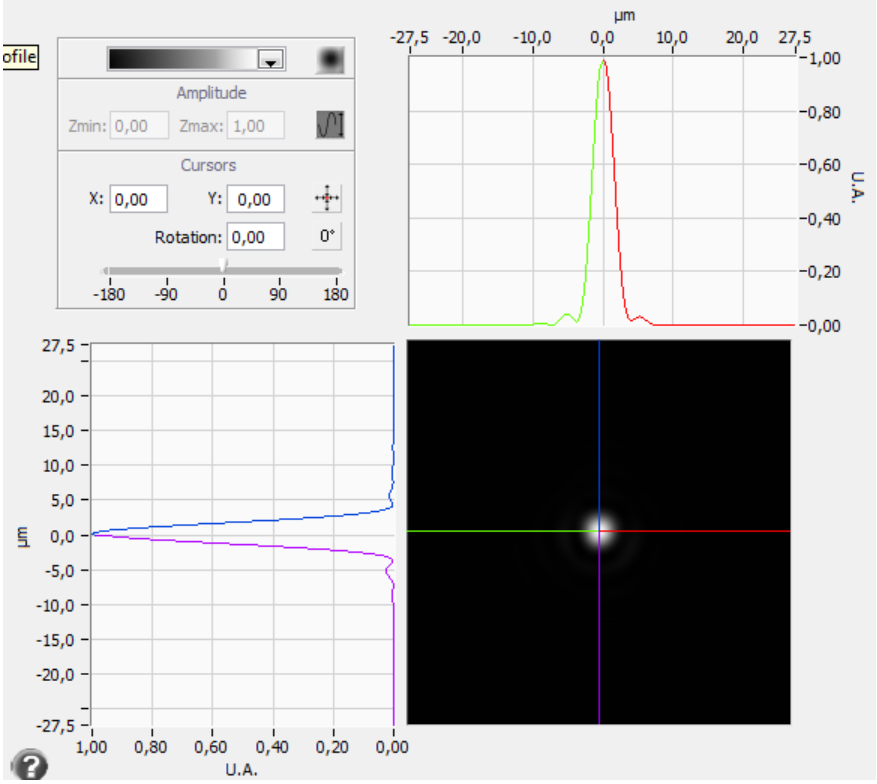
Ratio de Strehl : 0,913
Erreur PTV : 100 nm
Erreur RMS : 26 nm

3.2.2 Fonction de transfert de modulation

© 2010 Airylab SARL, 12 impasse de la cour 83560 Vinon sur Verdon. Tel : 04 92 76 50 89.
Les informations contenues dans ce rapport appartiennent au client et à Airylab. Reproduction soumise à autorisation.

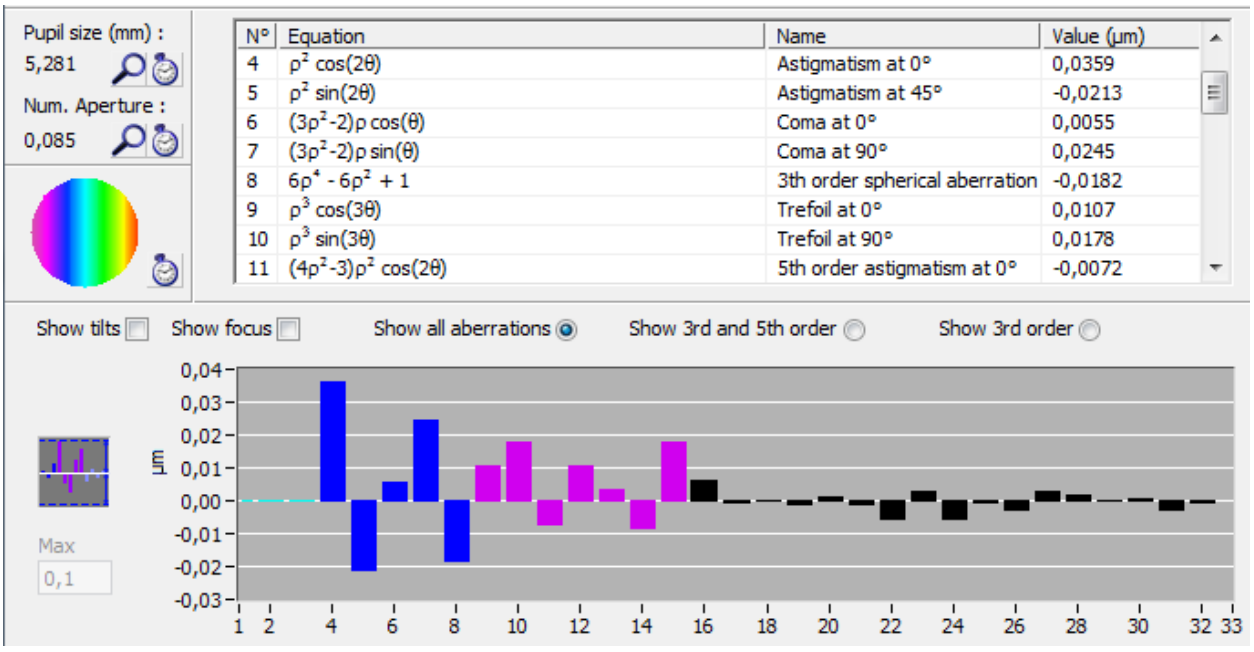


3.2.3 Réponse percussionnelle



3.2.4 Décomposition de Zernike

© 2010 Airylab SARL, 12 impasse de la cour 83560 Vinon sur Verdon. Tel : 04 92 76 50 89.
Les informations contenues dans ce rapport appartiennent au client et à Airylab. Reproduction soumise à autorisation.

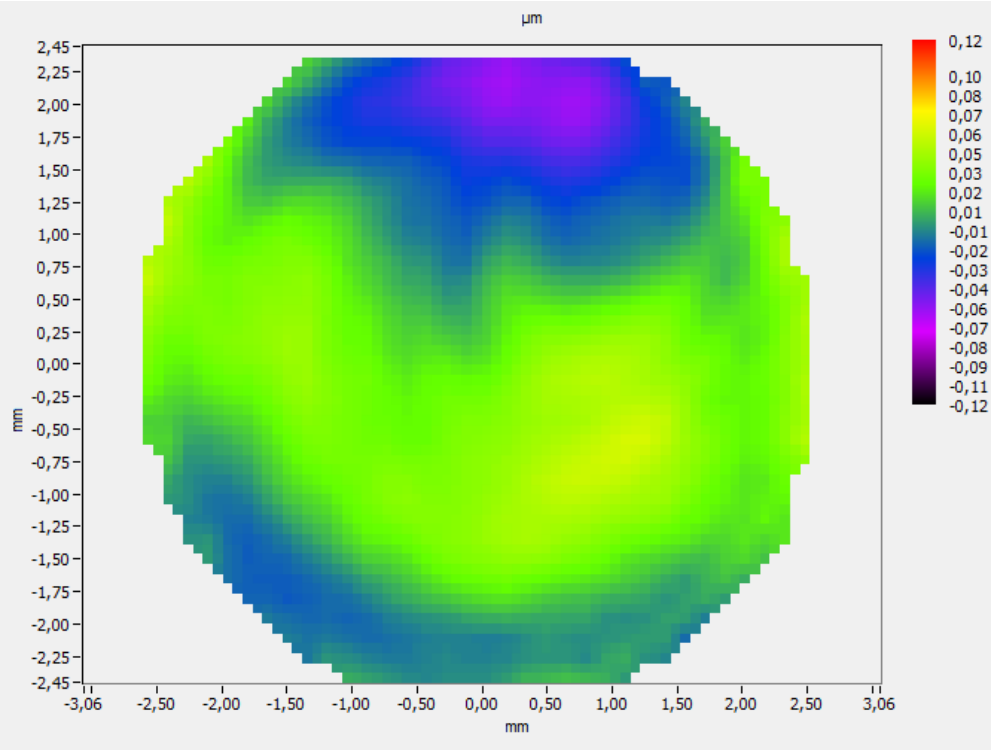


N°	Equation	Name	Value (µm)
4	$\rho^2 \cos(2\theta)$	Astigmatism at 0°	0,0359
5	$\rho^2 \sin(2\theta)$	Astigmatism at 45°	-0,0213
6	$(3\rho^2-2)\rho \cos(\theta)$	Coma at 0°	0,0055
7	$(3\rho^2-2)\rho \sin(\theta)$	Coma at 90°	0,0245
8	$6\rho^4 - 6\rho^2 + 1$	3th order spherical aberration	-0,0182
9	$\rho^3 \cos(3\theta)$	Trefoil at 0°	0,0107
10	$\rho^3 \sin(3\theta)$	Trefoil at 90°	0,0178
11	$(4\rho^2-3)\rho^2 \cos(2\theta)$	5th order astigmatism at 0°	-0,0072

© 2010 Airylab SARL, 12 impasse de la cour 83560 Vinon sur Verdon. Tel : 04 92 76 50 89.
Les informations contenues dans ce rapport appartiennent au client et à Airylab. Reproduction soumise à autorisation.

3.3 Mesure à 473nm

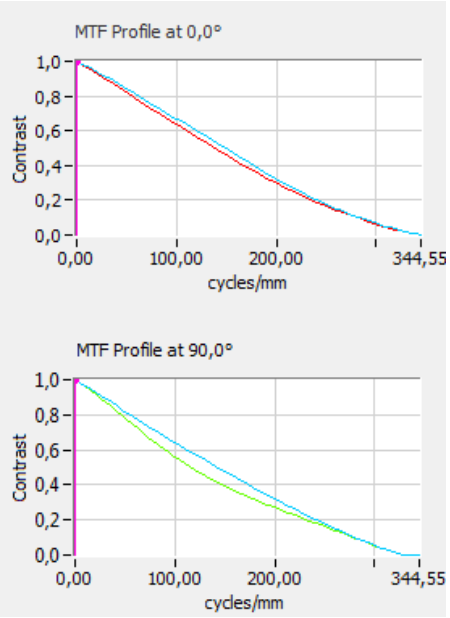
3.3.1 Front d'onde



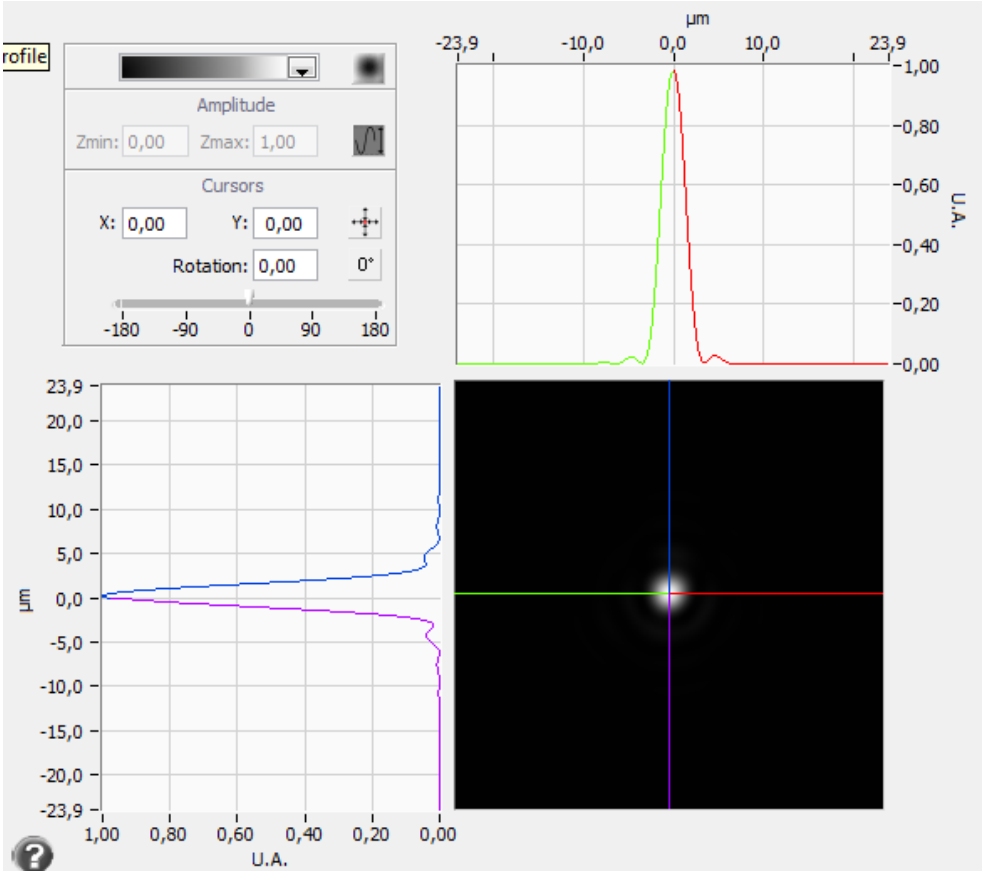
Ratio de Strehl : 0,879
Erreur PTV : 120nm,
Erreur RMS : 26 nm

3.3.2 Fonction de transfert de modulation

© 2010 Airylab SARL, 12 impasse de la cour 83560 Vinon sur Verdon. Tel : 04 92 76 50 89.
Les informations contenues dans ce rapport appartiennent au client et à Airylab. Reproduction soumise à autorisation.

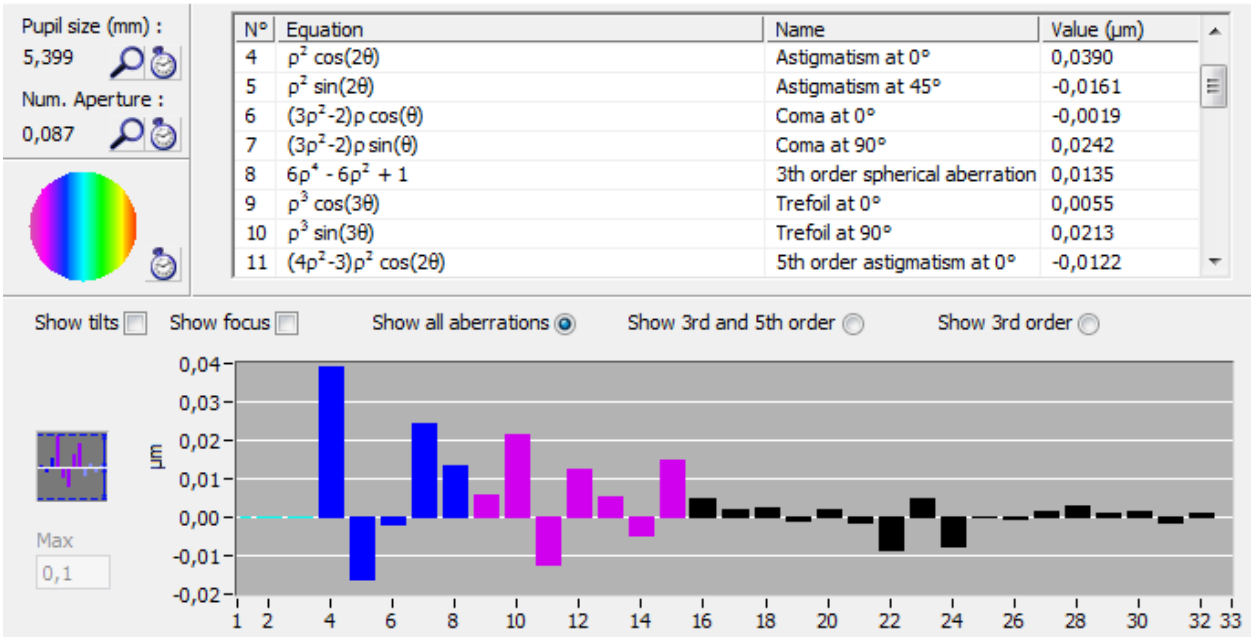


3.3.3 Réponse percussionnelle



© 2010 Airylab SARL, 12 impasse de la cour 83560 Vinon sur Verdon. Tel : 04 92 76 50 89.
Les informations contenues dans ce rapport appartiennent au client et à Airylab. Reproduction soumise à autorisation.

3.3.4 Décomposition de Zernike



N°	Equation	Name	Value (µm)
4	$\rho^2 \cos(2\theta)$	Astigmatism at 0°	0,0390
5	$\rho^2 \sin(2\theta)$	Astigmatism at 45°	-0,0161
6	$(3\rho^2-2)\rho \cos(\theta)$	Coma at 0°	-0,0019
7	$(3\rho^2-2)\rho \sin(\theta)$	Coma at 90°	0,0242
8	$6\rho^4 - 6\rho^2 + 1$	3th order spherical aberration	0,0135
9	$\rho^3 \cos(3\theta)$	Trefoil at 0°	0,0055
10	$\rho^3 \sin(3\theta)$	Trefoil at 90°	0,0213
11	$(4\rho^2-3)\rho^2 \cos(2\theta)$	5th order astigmatism at 0°	-0,0122

© 2010 Airylab SARL, 12 impasse de la cour 83560 Vinon sur Verdon. Tel : 04 92 76 50 89.
Les informations contenues dans ce rapport appartiennent au client et à Airylab. Reproduction soumise à autorisation.

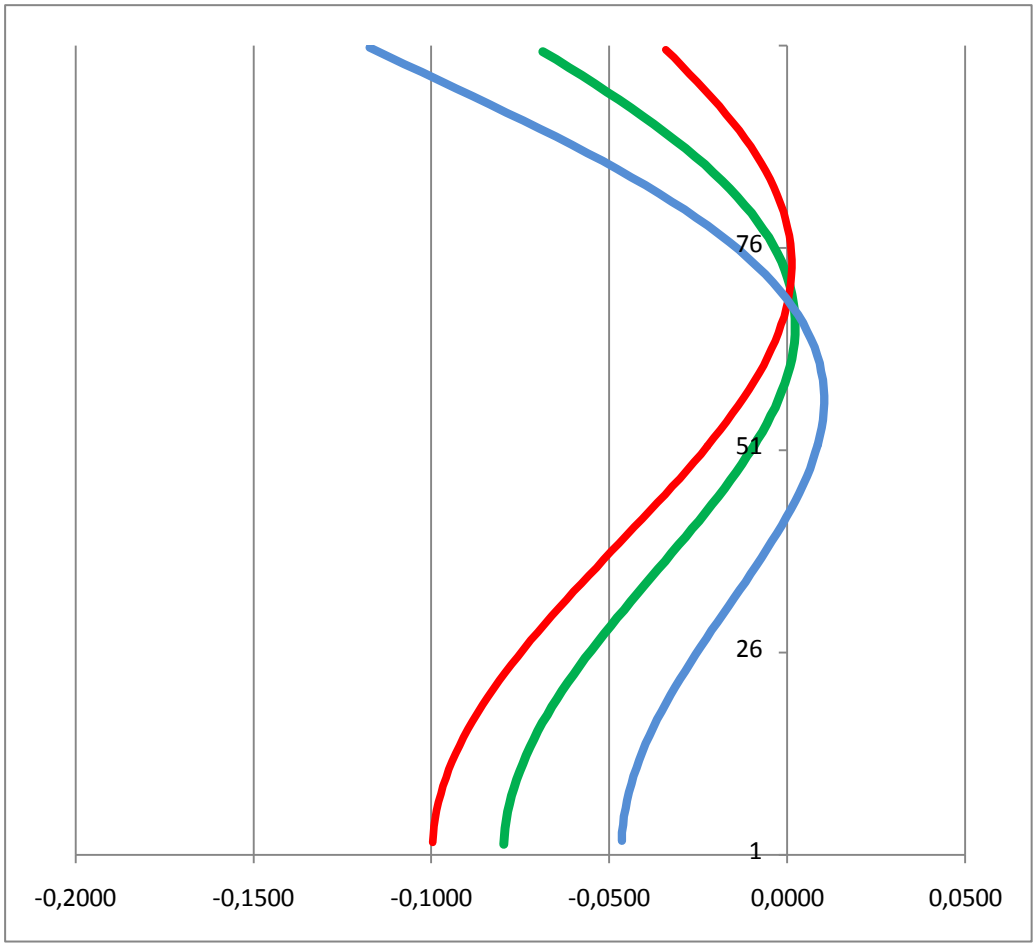
3.4 Chromatisme

3.4.1 Décalage des meilleurs foci sur l'axe

Rouge 635 nm	0
Vert 543 nm	-60µm
Bleu 473 nm	-85µm

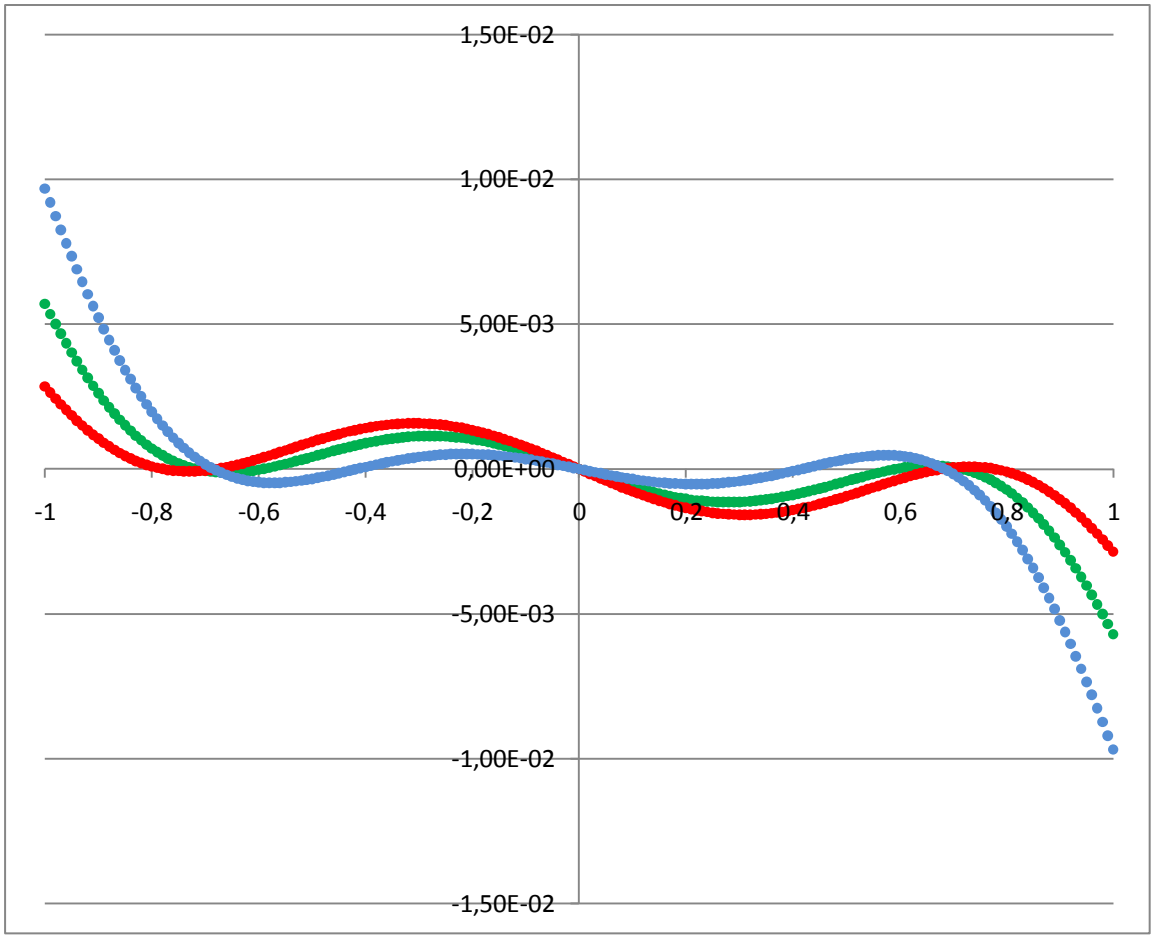
3.4.2 Sphérochromatisme

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



Chromatisme longitudinal, Unités mm

© 2010 Airylab SARL, 12 impasse de la cour 83560 Vinon sur Verdon. Tel : 04 92 76 50 89.
Les informations contenues dans ce rapport appartiennent au client et à Airylab. Reproduction soumise à autorisation.



Chromatisme transverse, Unités mm

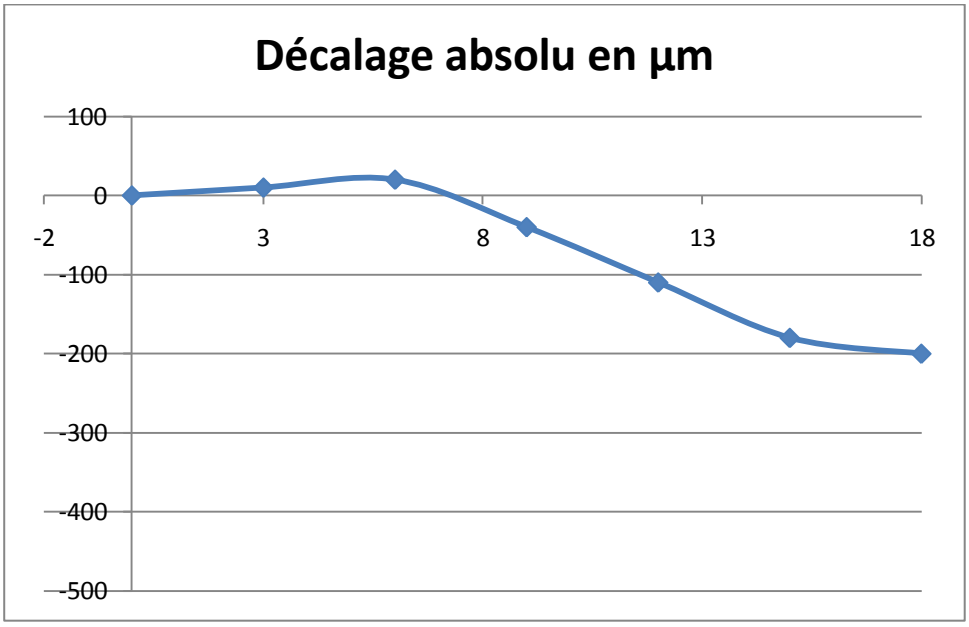
© 2010 Airylab SARL, 12 impasse de la cour 83560 Vinon sur Verdon. Tel : 04 92 76 50 89.
Les informations contenues dans ce rapport appartiennent au client et à Airylab. Reproduction soumise à autorisation.

3.5 Mesure dans le champ à 635nm

3.5.1 Courbure de champ

Mesure de 0 à 18mm
Cercle de pleine lumière : 40mm

Rayon de courbure de Petzval mesuré : 1543mm
Décalage du point à 21mm de l'axe : 200µm



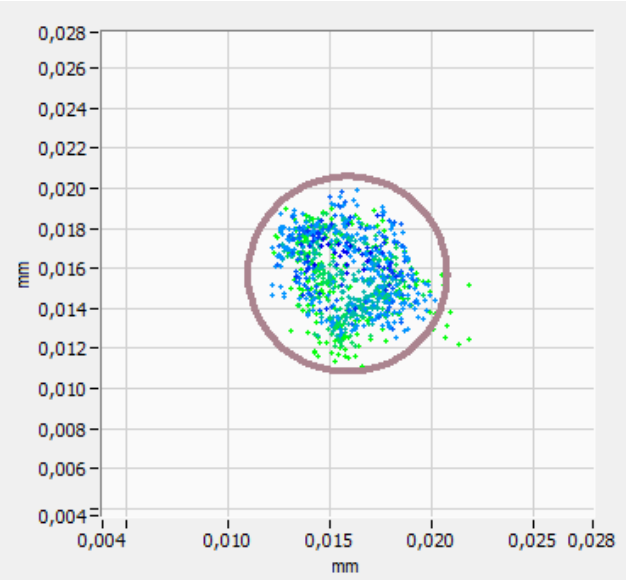
3.5.2 Spot diagram

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

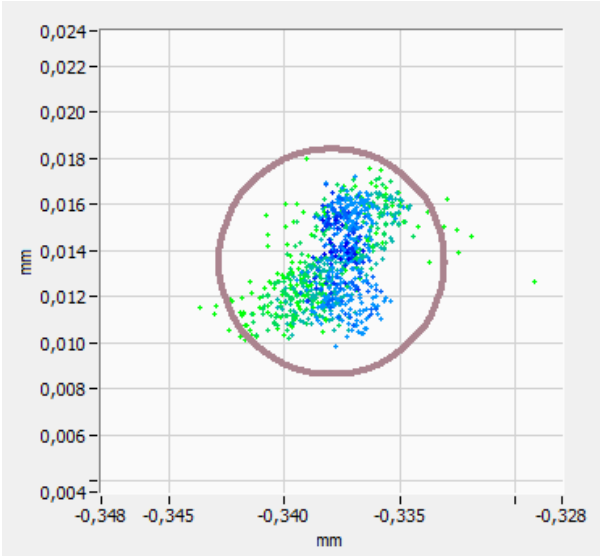
Les points verts représentent les rayons marginaux (extérieur de la pupille), les bleus les rayons paraxiaux (proche de l'axe optique).
Les *spot diagrams* dans le champ sont donnés sans prendre en compte la courbure de champ à gauche (cas d'une utilisation avec un oculaire), et avec la défocalisation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

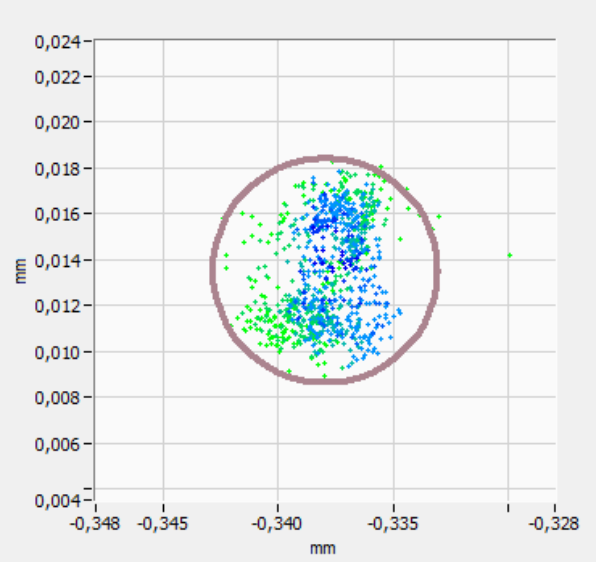
Sur l'axe

© 2010 Airylab SARL, 12 impasse de la cour 83560 Vinon sur Verdon. Tel : 04 92 76 50 89.
Les informations contenues dans ce rapport appartiennent au client et à Airylab. Reproduction soumise à autorisation.



6mm

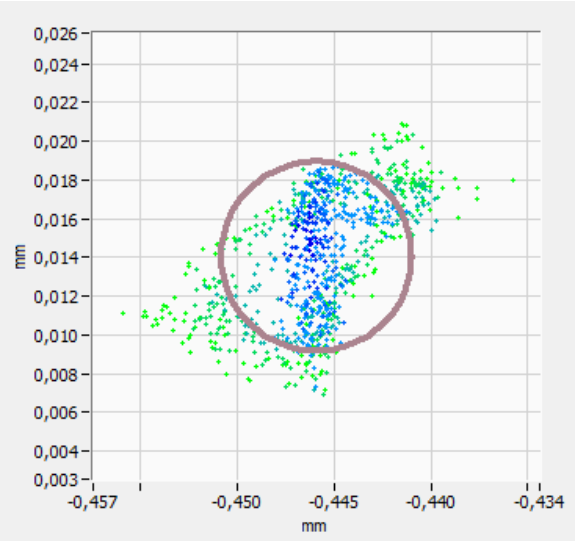


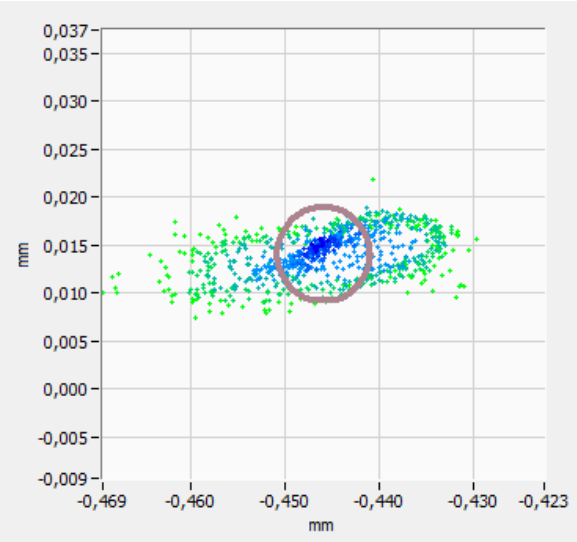


Focalisé / défocalisé

12mm

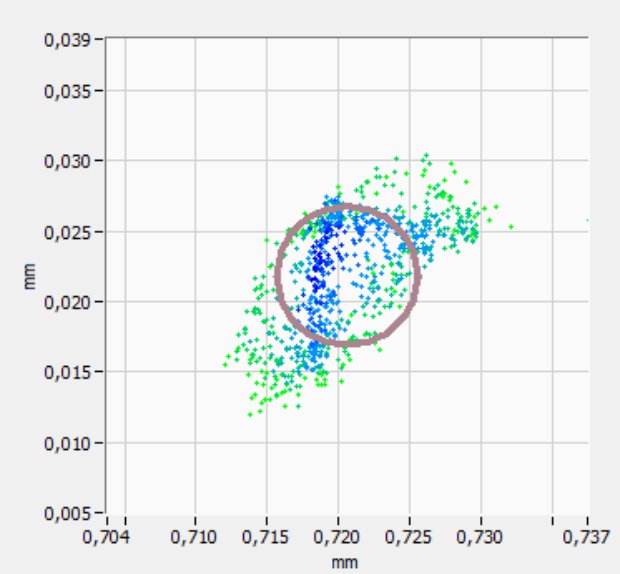
© 2010 Airylab SARL, 12 impasse de la cour 83560 Vinon sur Verdon. Tel : 04 92 76 50 89.
Les informations contenues dans ce rapport appartiennent au client et à Airylab. Reproduction soumise à autorisation.

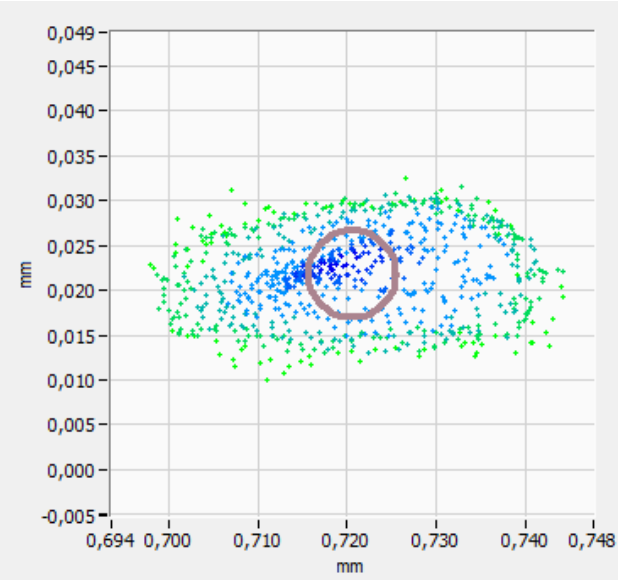




Focalisé / défocalisé

18mm





Focalisé / défocalisé

© 2010 Airylab SARL, 12 impasse de la cour 83560 Vinon sur Verdon. Tel : 04 92 76 50 89.
Les informations contenues dans ce rapport appartiennent au client et à Airylab. Reproduction soumise à autorisation.

© 2010 Airylab SARL, 12 impasse de la cour 83560 Vinon sur Verdon. Tel : 04 92 76 50 89.
Les informations contenues dans ce rapport appartiennent au client et à Airylab. Reproduction soumise à autorisation.

4 Mesure avec convertisseur x1,7

Focale : 600mm
Nombre d'ouverture : 10
Taille théorique de la tâche de diffraction :

Focale	600
Diamètre	60
Longueur d'onde	Taille PSF µm
635	15,49
543	13,25
473	11,54

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

Focale	600
Diamètre	60
Longueur d'onde	Coupure
635	157,48
543	184,16
473	211,42

4.1 Front d'onde

Longueur d'onde	Erreur PTV nm	Erreur RMS nm
635nm	34	134
543nm	30	136
473nm	28	122

© 2010 Airylab SARL, 12 impasse de la cour 83560 Vinon sur Verdon. Tel : 04 92 76 50 89.
Les informations contenues dans ce rapport appartiennent au client et à Airylab. Reproduction soumise à autorisation.

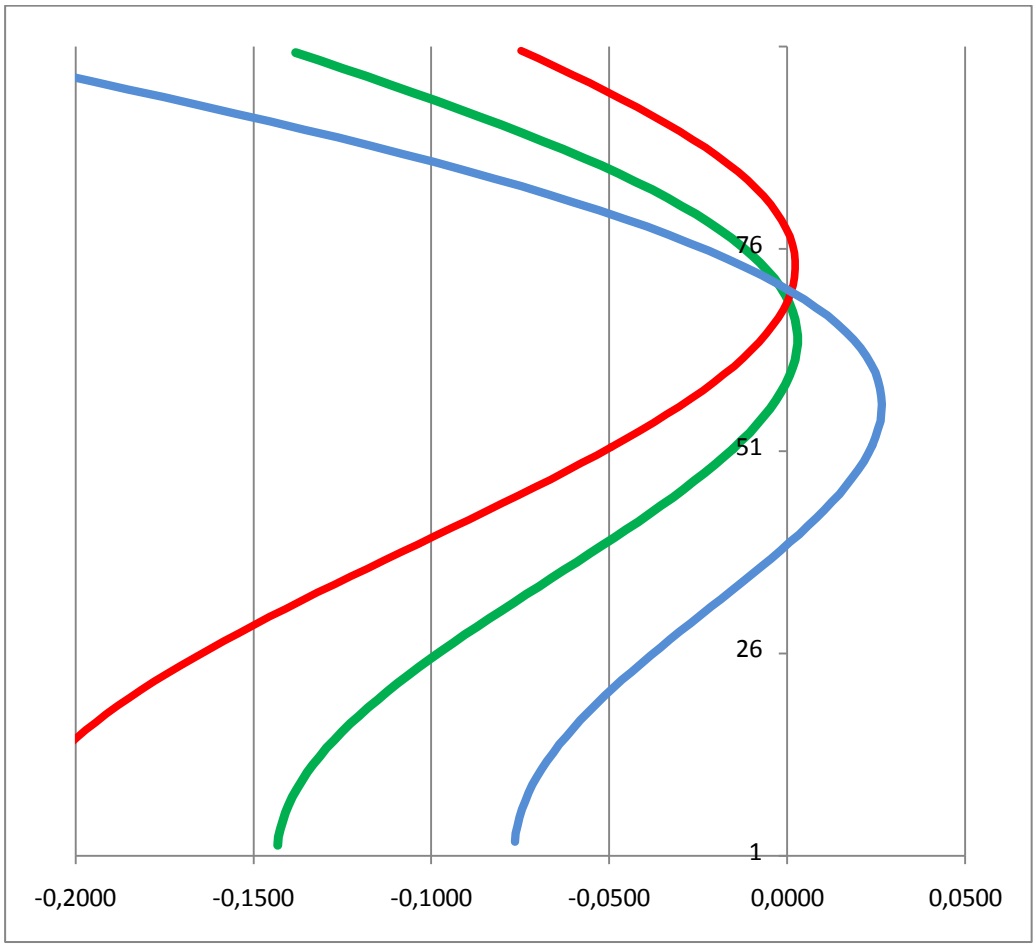
4.2 Chromatisme

4.2.1 Décalage des meilleurs foci sur l'axe

Rouge 635 nm	0
Vert 543 nm	-100µm
Bleu 473 nm	-80µm

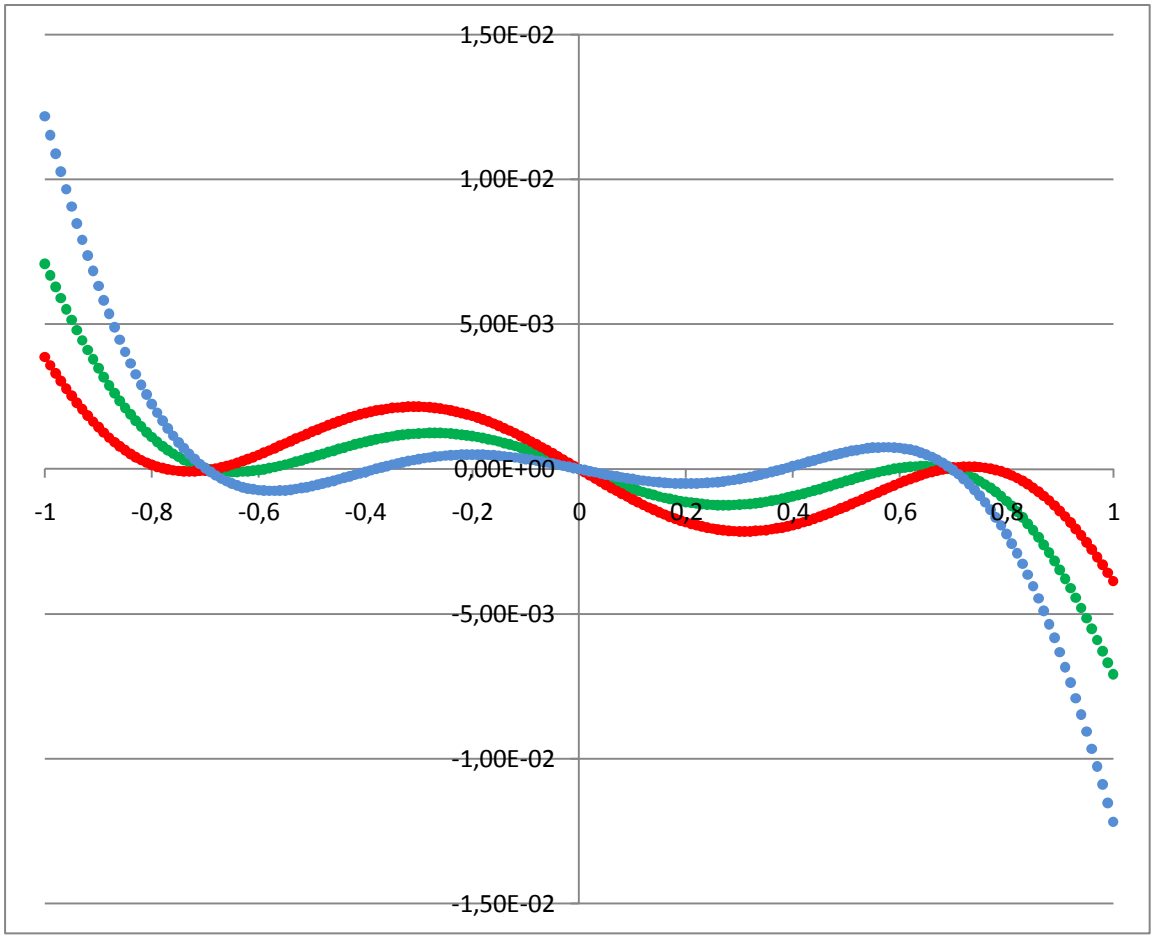
4.2.2 Sphérochromatisme

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



Chromatisme longitudinal, Unités mm

© 2010 Airylab SARL, 12 impasse de la cour 83560 Vinon sur Verdon. Tel : 04 92 76 50 89.
Les informations contenues dans ce rapport appartiennent au client et à Airylab. Reproduction soumise à autorisation.



Chromatisme transverse, Unités mm

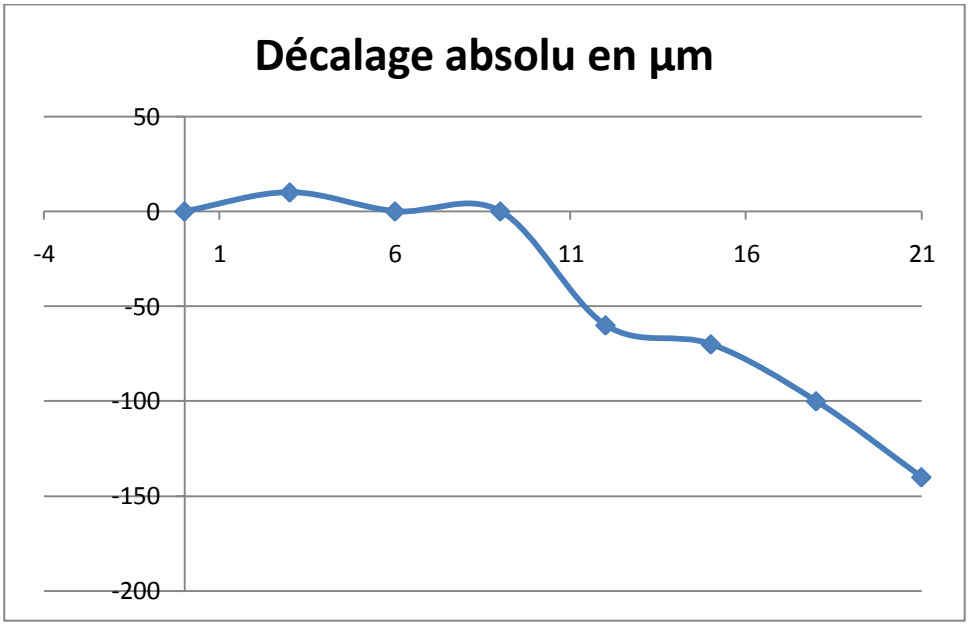
© 2010 Airylab SARL, 12 impasse de la cour 83560 Vinon sur Verdon. Tel : 04 92 76 50 89.
Les informations contenues dans ce rapport appartiennent au client et à Airylab. Reproduction soumise à autorisation.

4.3 Mesure dans le champ à 635nm

4.3.1 Courbure de champ

Mesure de 0 à 18mm
Cercle de pleine lumière : 36mm

Rayon de courbure de Petzval mesuré : 2700mm
Décalage du point à 21mm de l'axe : 140µm



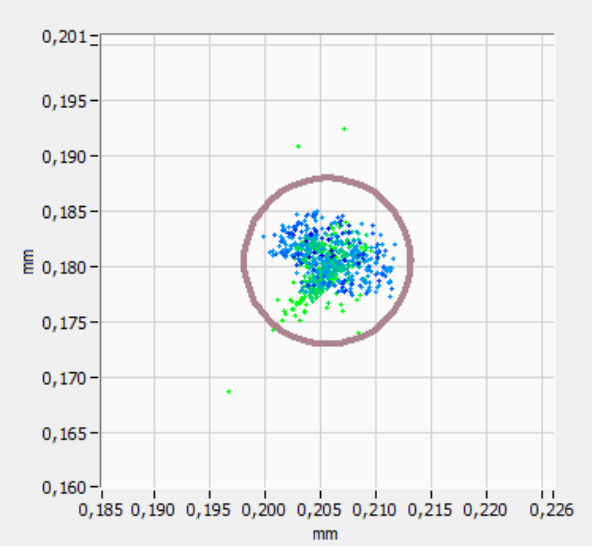
© 2010 Airylab SARL, 12 impasse de la cour 83560 Vinon sur Verdon. Tel : 04 92 76 50 89.
Les informations contenues dans ce rapport appartiennent au client et à Airylab. Reproduction soumise à autorisation.

4.3.2 Spot diagram

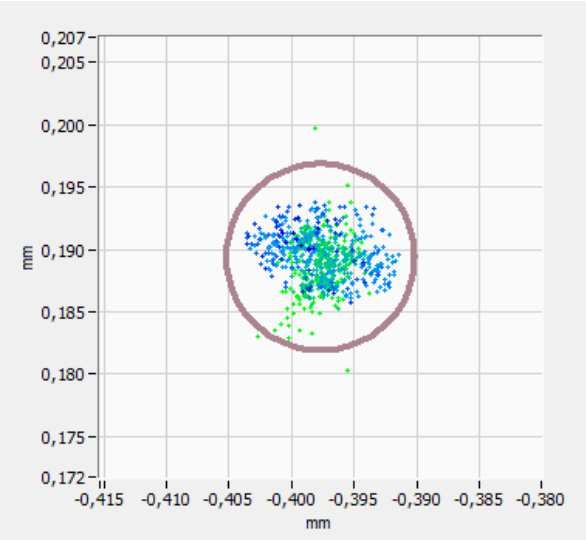
Le cercle représente la taille théorique de la tâche de diffraction.

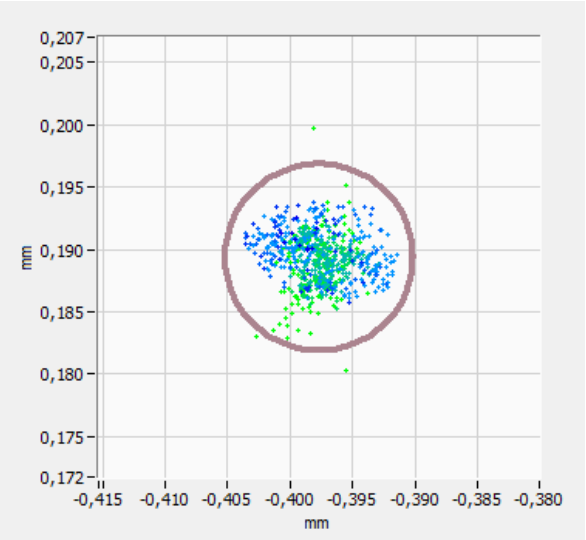
Les points verts représentent les rayons marginaux (extérieur de la pupille), les bleus les rayons paraxiaux (proche de l'axe optique).
Les *spot diagrams* dans le champ sont donnés sans prendre en compte la courbure de champ à gauche (cas d'une utilisation avec un oculaire), et avec la défocalisation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

Sur l'axe



9mm

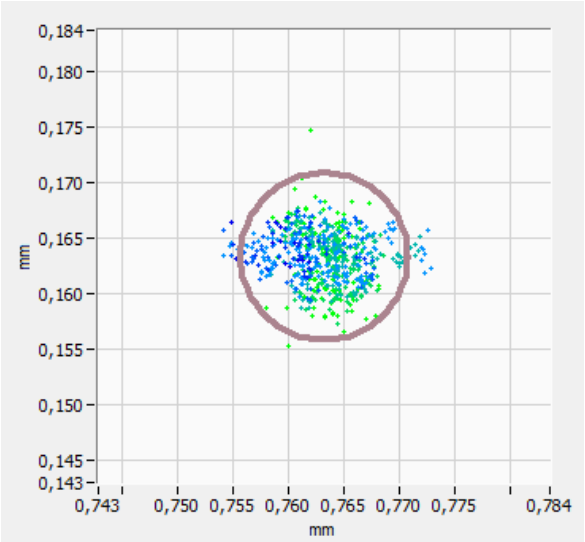


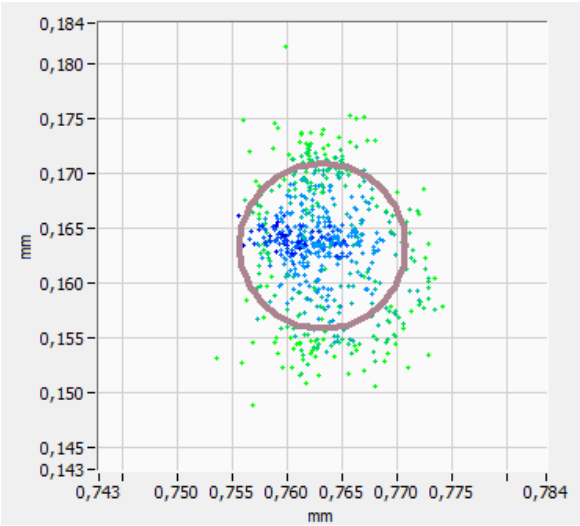


Focalisé / défocalisé

© 2010 Airylab SARL, 12 impasse de la cour 83560 Vinon sur Verdon. Tel : 04 92 76 50 89.
Les informations contenues dans ce rapport appartiennent au client et à Airylab. Reproduction soumise à autorisation.

21mm





Focalisé / défocalisé

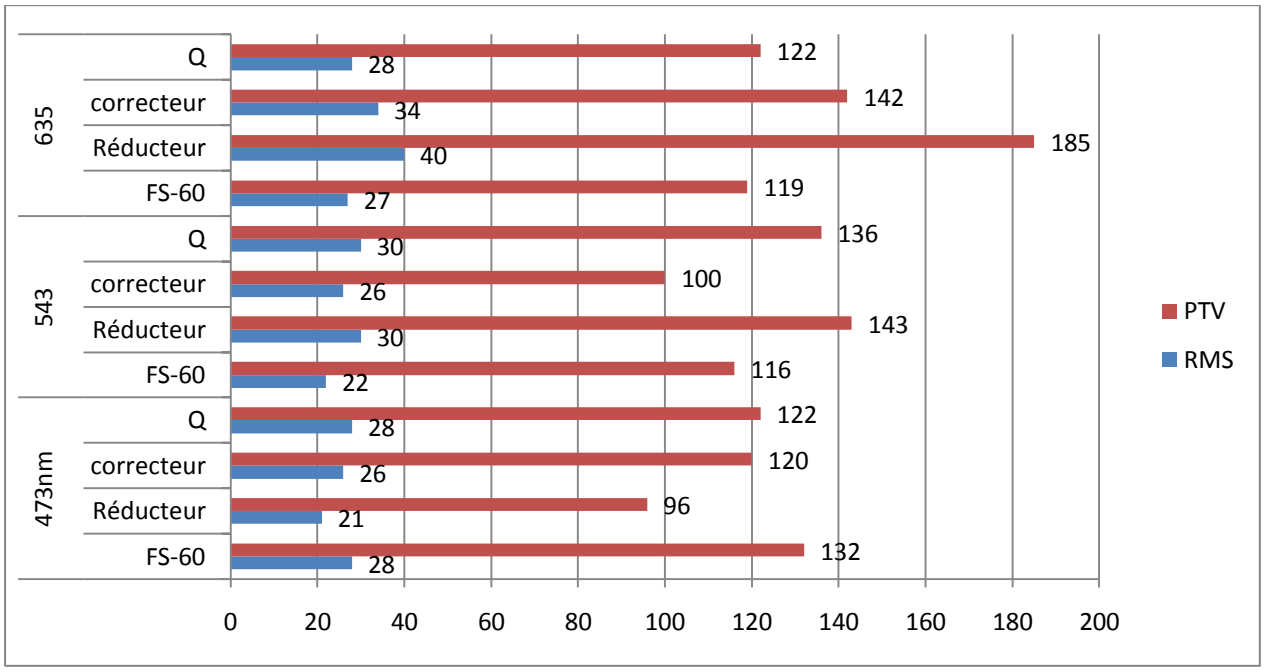
© 2010 Airylab SARL, 12 impasse de la cour 83560 Vinon sur Verdon. Tel : 04 92 76 50 89.
Les informations contenues dans ce rapport appartiennent au client et à Airylab. Reproduction soumise à autorisation.

Ce tableau synthétise les résultats d'analyse du front d'onde sur l'axe selon la configuration de la lunette et la longueur d'onde. On peut noter que les compléments optiques ont un impact assez mineur sur les performances, ce qui est loin d'être toujours le cas.

5 Synthèse

5.1 Erreur sur l'onde

Le graphe donne les erreurs RMS et PTV sur l'onde en nm à 473, 543 et 635nm

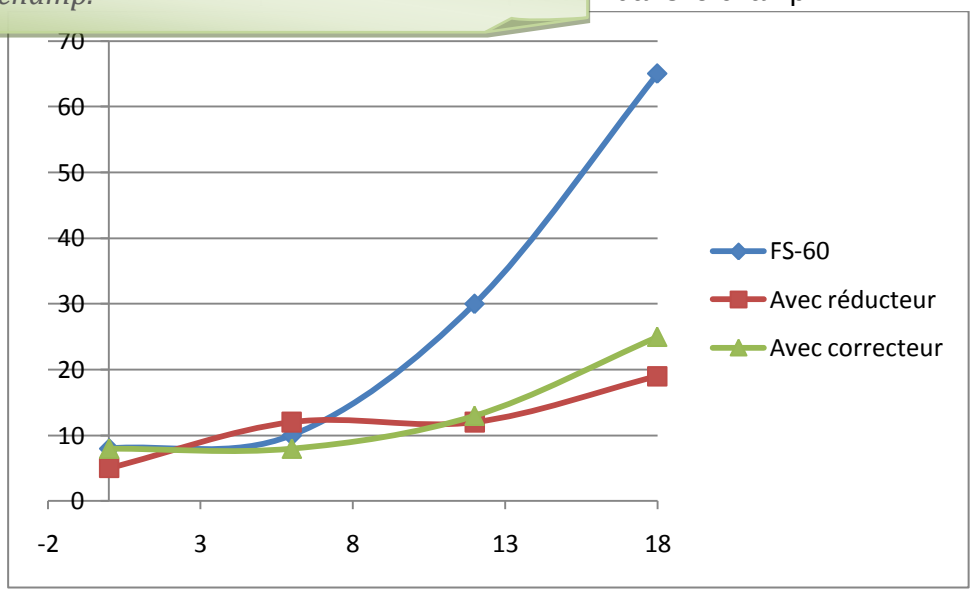


5.2 Taille de la tâche de diffraction à 635nm

5.2.1 Visuel

Ce graphique donne la taille de l'image d'une étoile sans la courbure de champ.

rand de la tâche de diffraction sans tenir
n dans le champ.

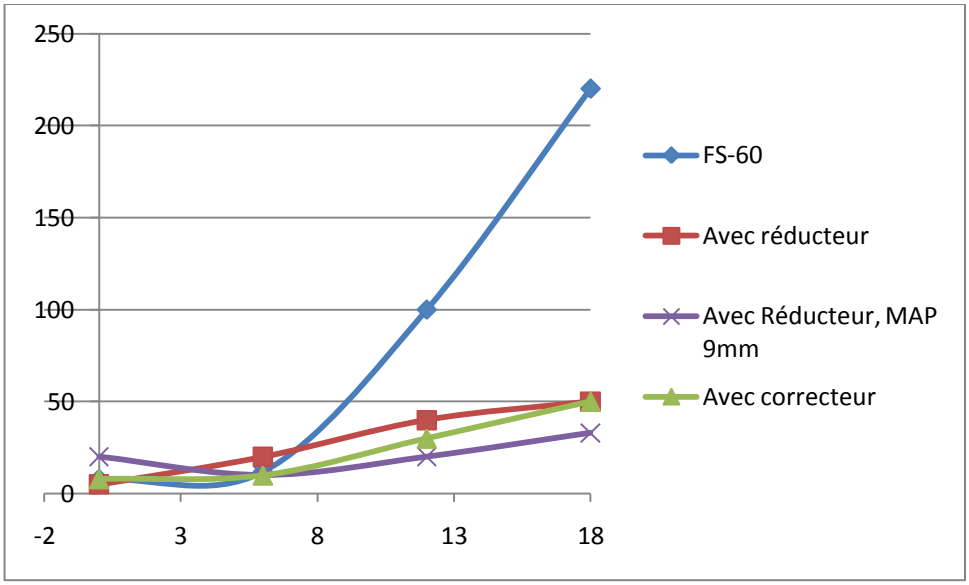


Unité : µm

© 2010 Airylab SARL, 12 impasse de la cour 83560 Vinon sur Verdon. Tel : 04 92 76 50 89.
Les informations contenues dans ce rapport appartiennent au client et à Airylab. Reproduction soumise à autorisation.

5.2.2 Photographie

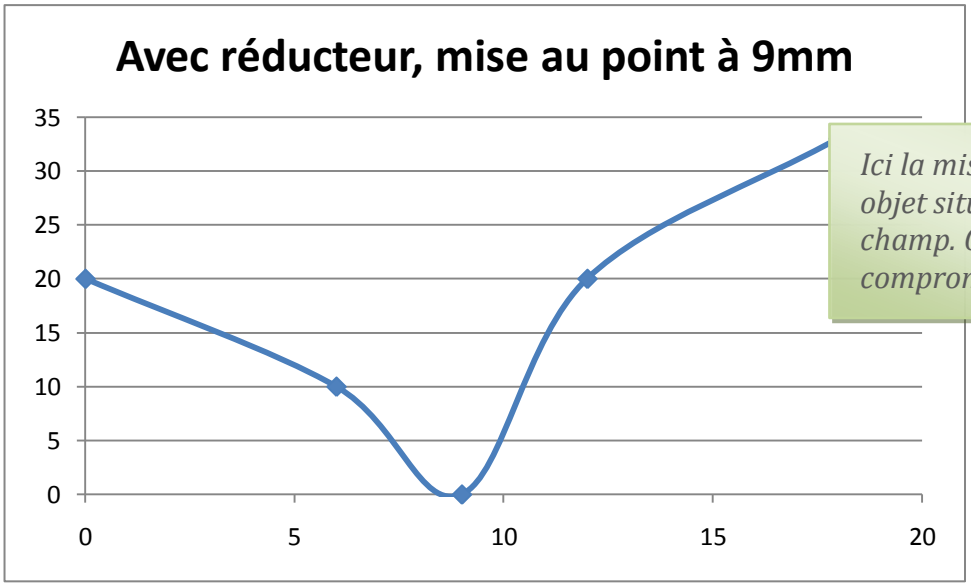
Le graphique ci-dessous montre la taille de l'axe le plus grand de la tâche de diffraction en tenant compte de la courbure de champ en fonction de la position dans le champ et avec une focalisation faite au centre du champ.



Ce graphique donne la taille de l'image d'une étoile avec la courbure de champ. Dans le cas présent, la taille de l'image d'une étoile devient importante au-delà de 12 mm. Il convient éventuellement de faire le point non pas au centre du champ, mais à mi chemin entre le centre du champ et son bord pour limiter l'impact de la courbure de champ.

Unité : µm

Le graphique ci-dessous montre la taille de l'axe le plus grand de la tâche de diffraction <u>avec le réducteur</u> en tenant compte de la courbure de champ en fonction de la position dans le champ. Dans ce cas, la focalisation est faite à 9mm du centre du champ.

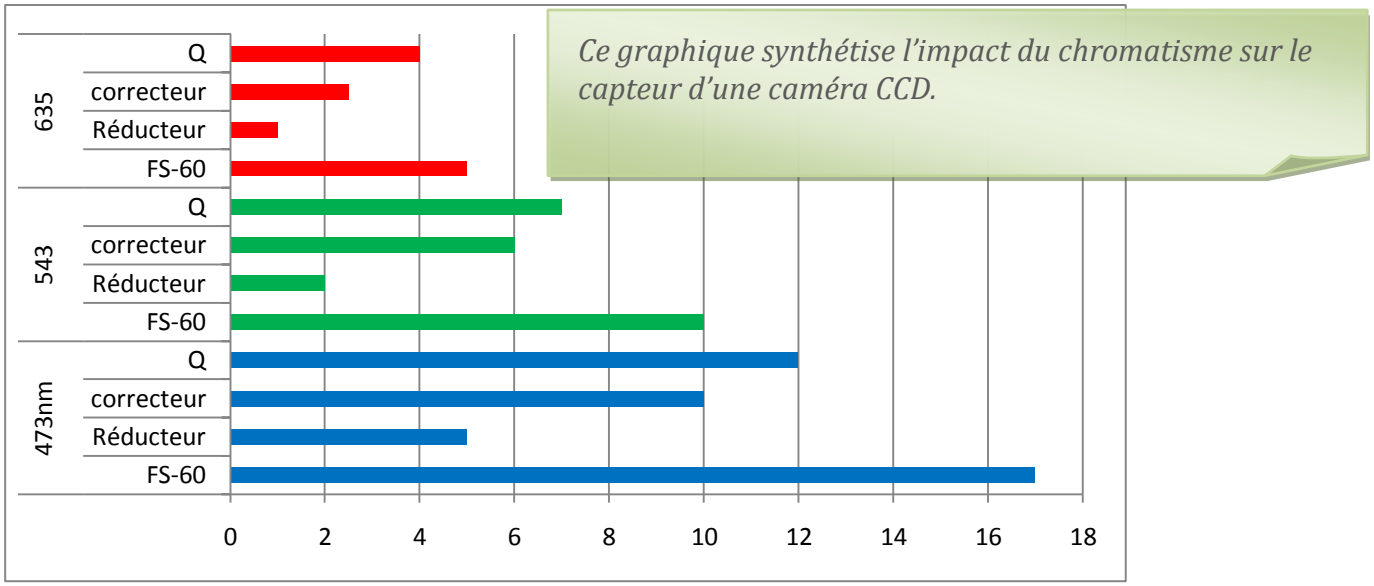


Ici la mise au point est faite sur un objet situé à 9mm du centre du champ. C'est le meilleur compromis.

5.3 Aberration chromatique transverse

Le graphique donne la demi aberration chromatique transverse calculée depuis l'aberration sphérique des 3eme, 5eme et 7eme ordres (sphérochromatisme).

© 2010 Airylab SARL, 12 impasse de la cour 83560 Vinon sur Verdon. Tel : 04 92 76 50 89.
Les informations contenues dans ce rapport appartiennent au client et à Airylab. Reproduction soumise à autorisation.



Unité : µm

© 2010 Airylab SARL, 12 impasse de la cour 83560 Vinon sur Verdon. Tel : 04 92 76 50 89.
Les informations contenues dans ce rapport appartiennent au client et à Airylab. Reproduction soumise à autorisation.