

WE LOOK AFTER THE EARTH BEAT

# Conception d'optiques freeforms pour les télescopes SFO 2018

F.KELLER / N.TETAZ

13/12/17

THALES ALENIA SPACE INTERNAL

ThalesAlenia  
A Thales / Finmeccanica Company *Space*

# SFO – 13/12/2017

## Introduction

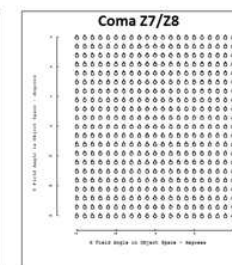
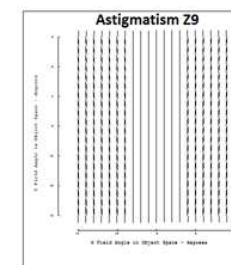
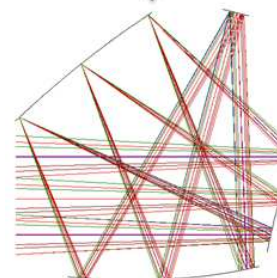
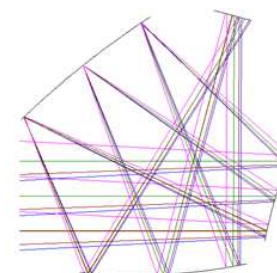
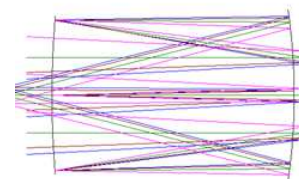
THALES ALENIA SPACE INTERNAL

Il documento non deve essere riprodotto, modificato, adattato, pubblicato, tradotto in qualsiasi forma sostanziale, in tutto o in parte, né divulgato a terze parti senza il preventivo consenso scritto di Thales Alenia Space - © 2012, Thales Alenia Space

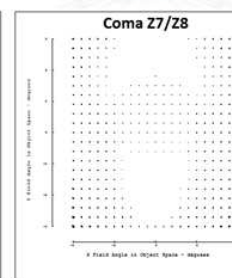
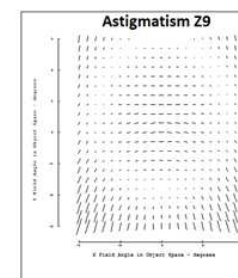
**ThalesAlenia**  
A Thales / Finmeccanica Company  
*Space*

# Contexte / expérience de TAS

- Thales Alenia Space design des surfaces freeforms depuis 2013.
- Dans le cadre d'une étude ESA pour les spectromètres du futur, nous avons collaboré avec le Center of Freeform Optics (CeFO).
- Depuis, nous concevons des surfaces freeforms définies par un jeu de polynômes de Zernike et suivant la Nodal Aberration Theory (NAT), qui reste à ce jour un sujet d'étude important et ouvert.
- La NAT et l'utilisation des Zernikes sont en train de devenir la norme actuelle du design de freeforms (cf OSA meeting in Denver – 95% des papiers).



1000  $\lambda$

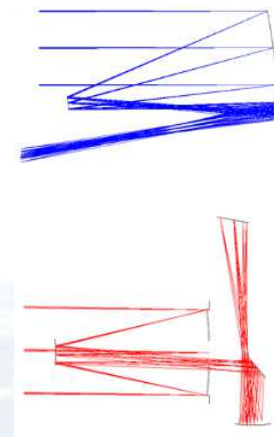
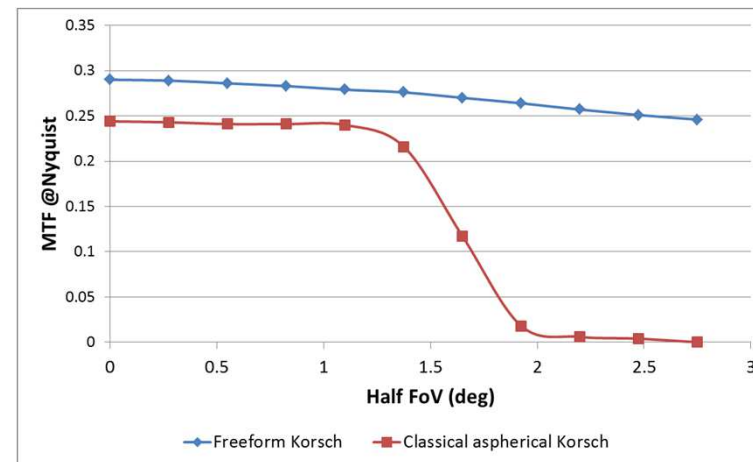
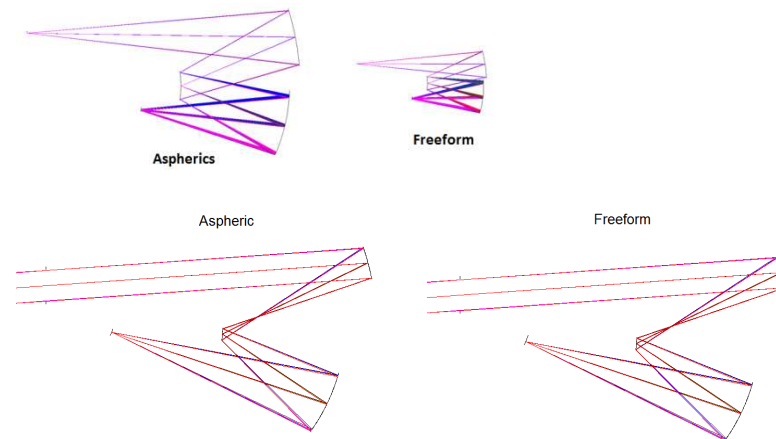


0.1  $\lambda$



# Contexte / expérience de TAS

- L'utilisation d'optiques freeforms permet de:
  - Augmenter le champ et/ou
  - Réduire le volume de l'instrument et/ou
  - Réduire la distorsion et/ou
  - Augmenter la qualité image.
- Depuis 2013, chaque nouvelle solution est systématiquement envisagée avec la présence de freeform.
- Nous avons récemment travaillé sur une étude CNES concernant les freeforms pour les instrument haute résolution et les télescopes à très grand champ.
- Nous croyons en l'utilisation des freeforms dans les instruments du futur (télescopes HR, Sentinelle carbone,...).



# SFO – 13/12/2017

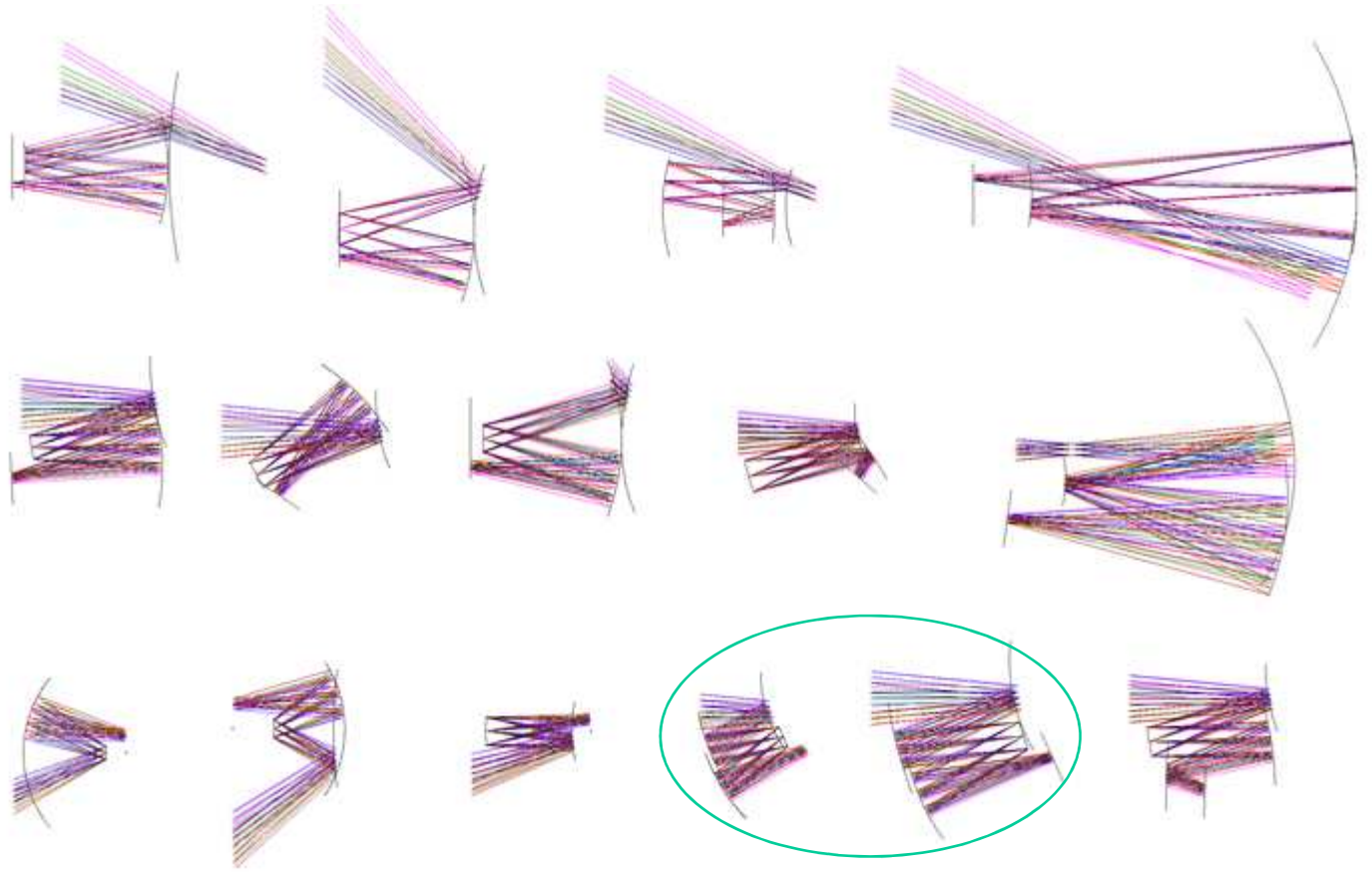
## Télescope catoptrique grand champ ( $\pm 34^\circ \times \pm 5.5^\circ$ )

THALES ALENIA SPACE INTERNAL

Il documento non deve essere riprodotto, modificato, adattato, pubblicato, tradotto in qualsiasi forma sostanziale, in tutto o in parte, né divulgato a terze parti senza il preventivo consenso scritto di Thales Alenia Space - © 2012, Thales Alenia Space

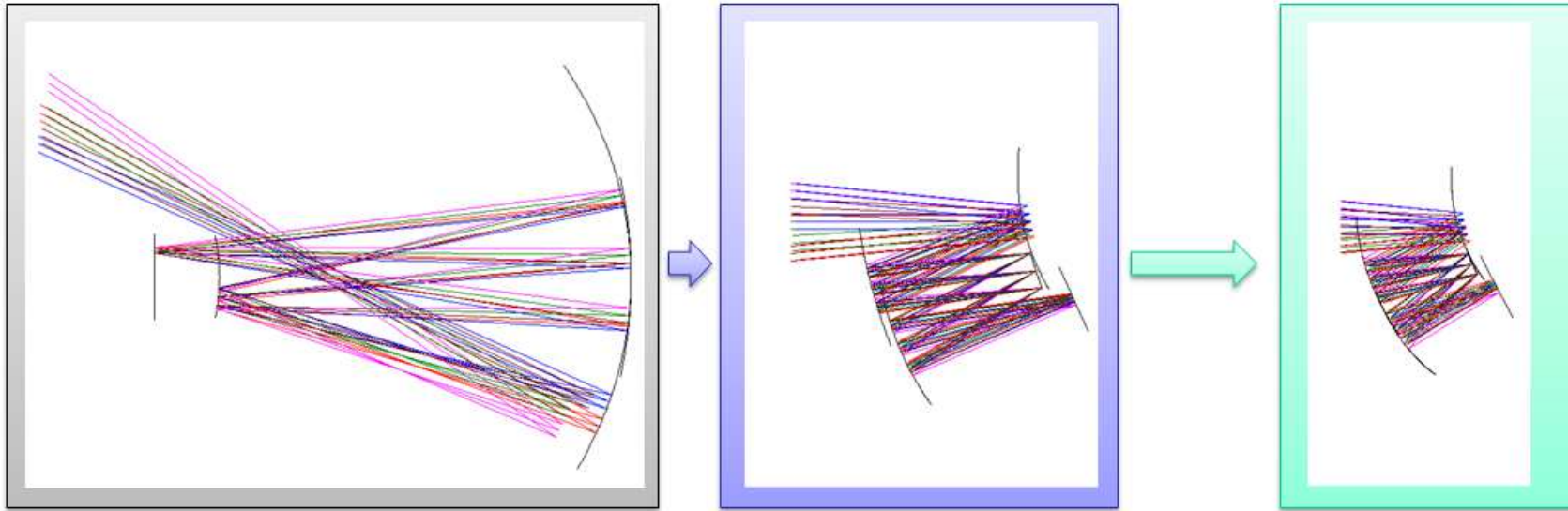
**ThalesAlenia**  
Space  
A Thales / Finmeccanica Company

Plus de 120 designs étudiés dans la phase 1 (TMA classiques et FF, 4MA FF)



Paramètre	Spec
Focale	70mm
Ouverture	f/4 au moins
Champs de vue	$\pm 34^\circ \times \pm 5.5^\circ$
Diamètre RMS géométrique de la tache image dans le plan focal	$< 5\mu\text{m}$
Télécentricité au plan focal	$< 4^\circ$
Distorsion	$< 10\%$ (on s'efforcera de la minimiser)
Taux de polarisation d'origine instrumentale	$< 2\%$

# Intérêt des FF



- Volume **86L**
- Spot diagram nominal max 3µm
- Télécentricité < 4°
- Distorsion 10%
- Pas de pupille accessible

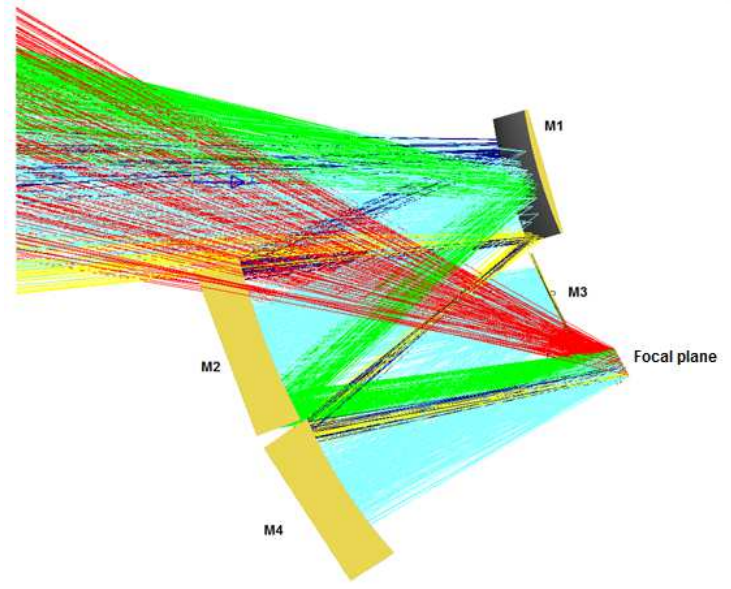
- Volume **22L**
- Spot diagram nominal max 5µm
- Télécentricité < 4°
- Distorsion 12%
- 30 cx / 11 / 2 / 2

- Volume **6L**
- Spot diagram max 1µm nominal / 4µm tolérance à 2σ
- Télécentricité < 4°
- Distorsion 12%
- **25 cx / 7 / 3 cx / 5**
- Taux de polarisation instrument < 0.7%

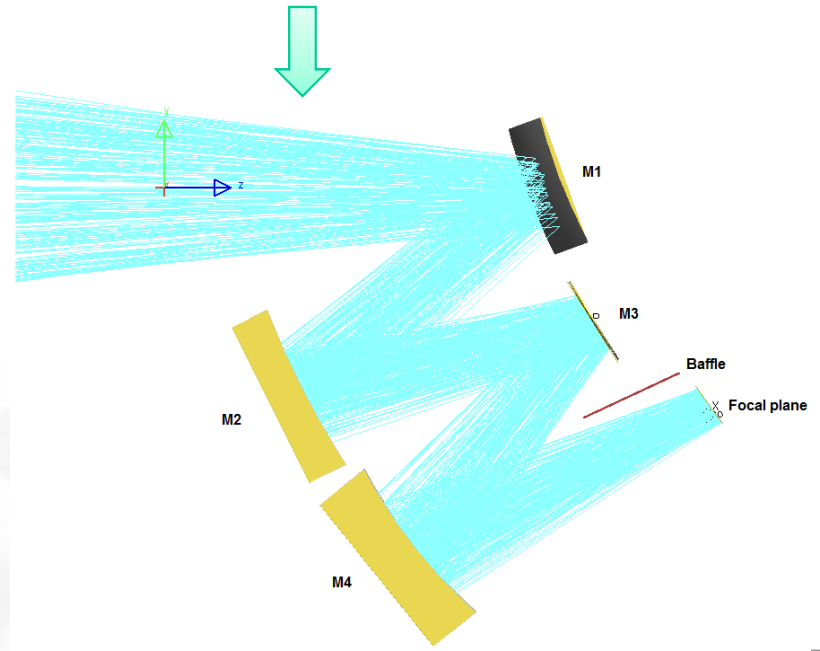
THALES ALENIA SPACE INTERNAL

# Prise en compte de la lumière parasite

4MA\_ff4



4MA\_ff5



Parmètres	4MA_ff4	4MA_ff5
Telec. (<°)	4	4
Volume (L)	8	14
Distorsion (%)	12	13
$\Delta$ pente (mrad) M1/2/3/4	25cx / 7 / 3cx / 5	26cx / 7 / 7cx / 8
<b>TOLERANCEMENT avec polissage</b>		
RMS Spot diagram moyen sur le champ – $2\sigma$ ( $\mu$ m)	3	3,9

THALES ALENIA SPACE INTERNAL

Il documento non deve essere riprodotto, modificato, adattato, pubblicato, tradotto in qualsiasi forma sostanziale, in tutto o in parte, né divulgato a terze parti senza il preventivo consenso scritto di Thales Alenia Space - © 2012, Thales Alenia Space





# Conclusion sur l'étude TMA grand champ

9

- La présence de FF permet d'obtenir une combinaison  $68^\circ \times 11^\circ$ , ouverte à f/4 qui respecte les spécifications de spot diagram, possède une pupille accessible et dont le volume est 14 fois inférieur à celui de la solution classique.
- L'étude montre que le choix des FF et la méthode d'optimisation sont critiques dans l'établissement d'une solution FF.
- Les FF ne sont pas que des « super asphériques » que l'on peut optimiser en mettant les coefficients en variables.
- L'expérience du designer optique est donc indispensable.
- Un design FF ne semble pas plus sensible qu'un design classique. La sensibilité du design reste due à sa compacité et non à la présence des FF.

THALES ALENIA SPACE INTERNAL

Il documento non deve essere riprodotto, modificato, adattato, pubblicato, tradotto in qualsiasi forma sostanziale, in tutto o in parte, né divulgato a terze parti senza il preventivo consenso scritto di Thales Alenia Space - © 2012, Thales Alenia Space

**ThalesAlenia**  
Space  
A Thales / Finmeccanica Company

# SFO – 13/12/2017

## Compacter un instrument d'observation de la Terre haute résolution

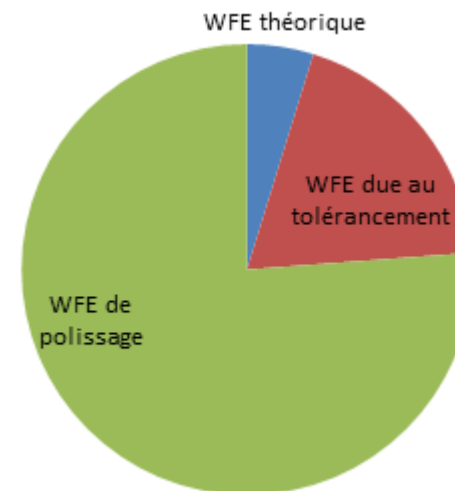
THALES ALENIA SPACE INTERNAL

Il documento non deve essere riprodotto, modificato, adattato, pubblicato, tradotto in qualsiasi forma sostanziale, in tutto o in parte, né divulgato a terze parti senza il preventivo consenso scritto di Thales Alenia Space - © 2012, Thales Alenia Space

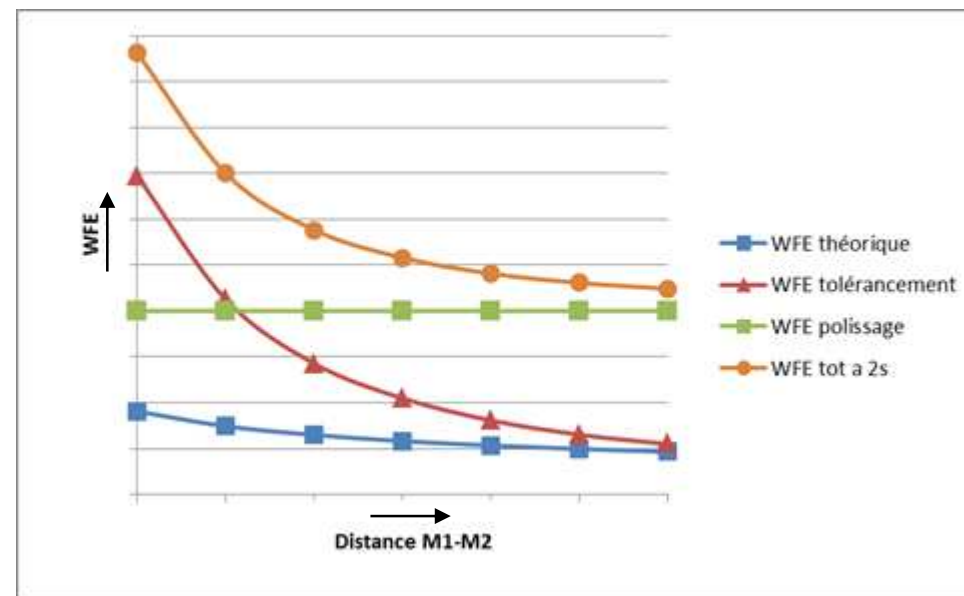
**ThalesAlenia**  
Space  
A Thales / Finmeccanica Company

# WFE pour les Korsch

- La performance de WFE provient de
  - la WFE théorique
  - l'augmentation de la WFE dû au tolérancement (AIT, thermo-élastique vol,...)
  - du polissage des miroirs



- Les TMA de type Korsch sont des combinaisons très compactes. La WFE de tolérancement augmente beaucoup plus rapidement que la WFE théorique quand on compacte M1-M2.

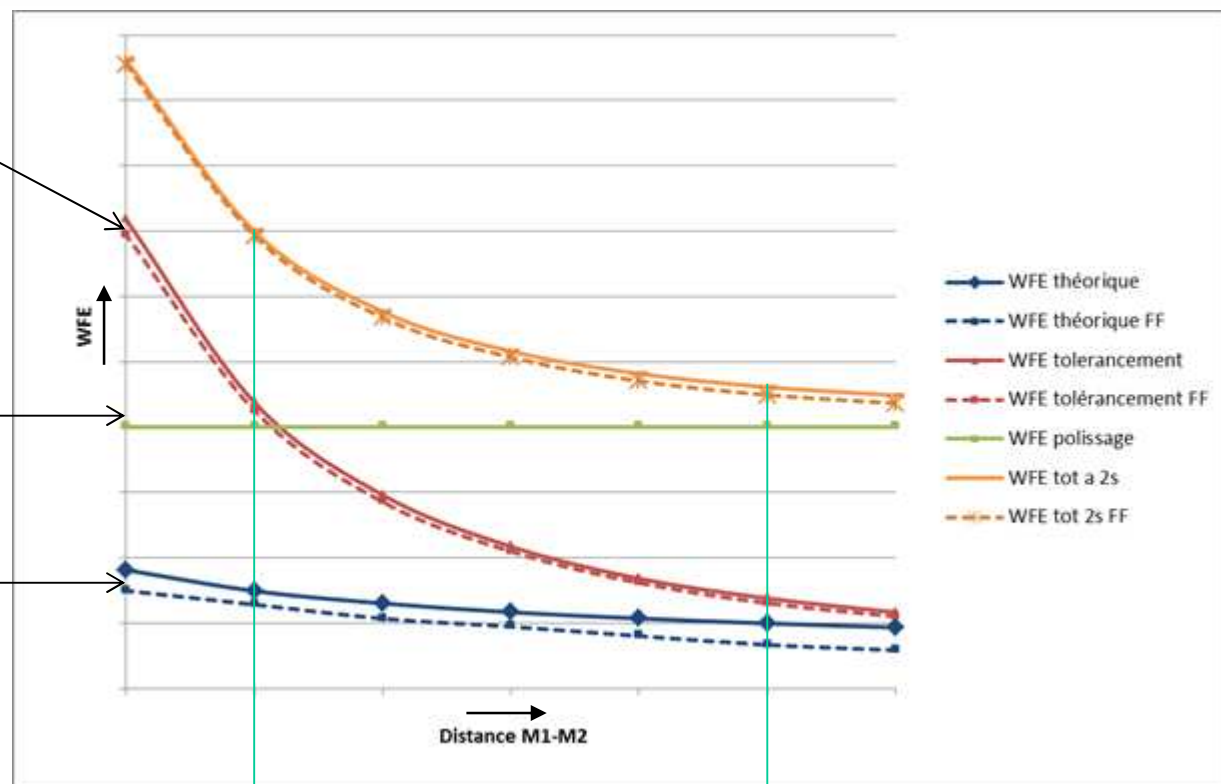


# Intérêt des FF pour un Korsch à champ classique

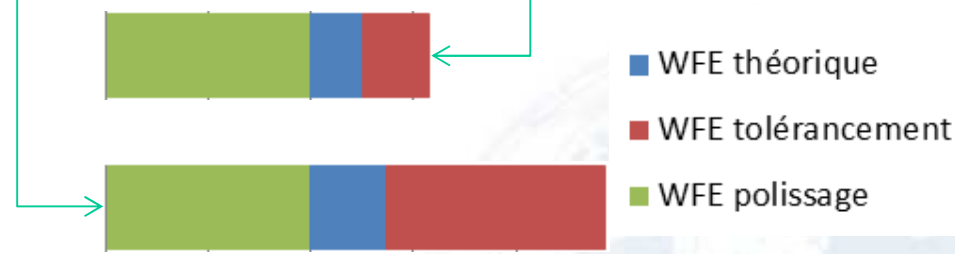
➤ Compacter M1-M2 augmente la sensibilité du M2. L'ajout de FF ne réduit pas cette sensibilité.

➤ On suppose que l'utilisation de FF n'a pas d'impact sur la WFE de polissage.

➤ Les freeforms permettent d'améliorer la performance théorique de l'instrument.

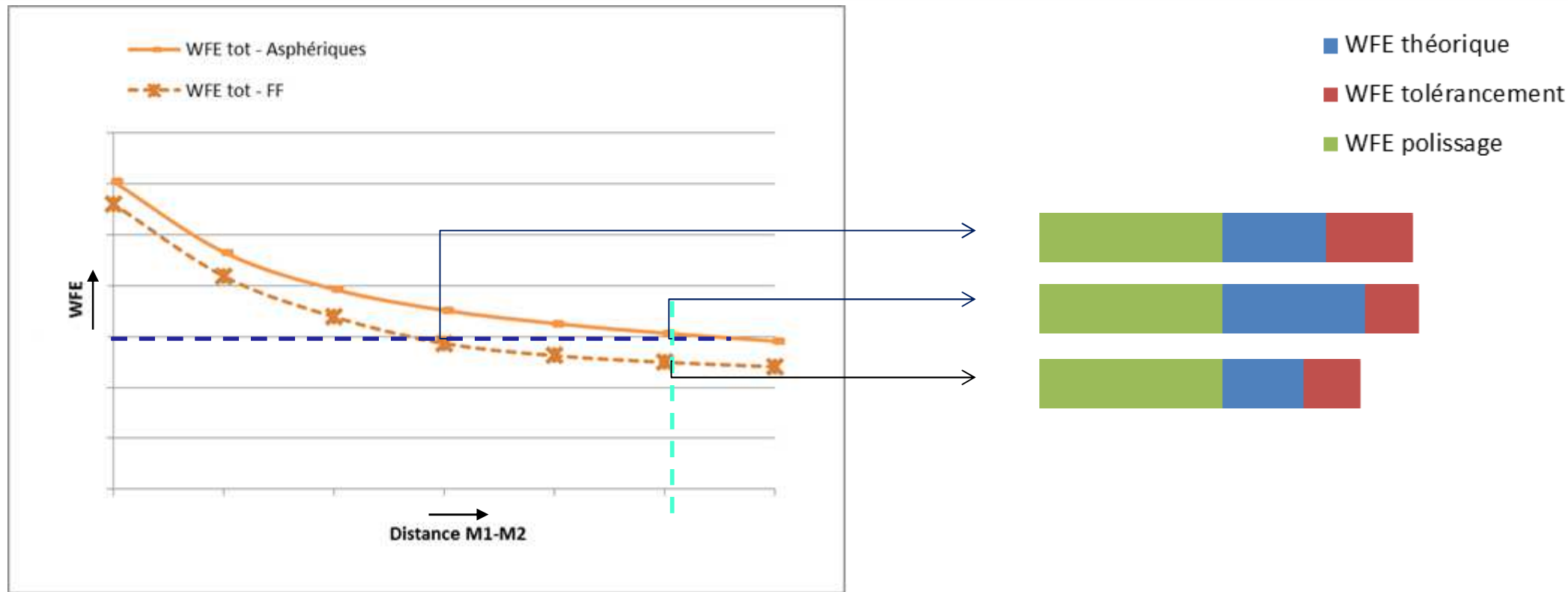


➤ Dans les cas où la WFE théorique est faible les freeforms n'apportent pas de gain ni sur la WFE finale de l'instrument ni sur le volume.





# Intérêt des FF pour un Korsch à champ augmenté



➤ A **isoWFE**, l'ajout des freeform permet de réduire le volume. Le gain en WFE théorique est alors converti en gain sur le volume.

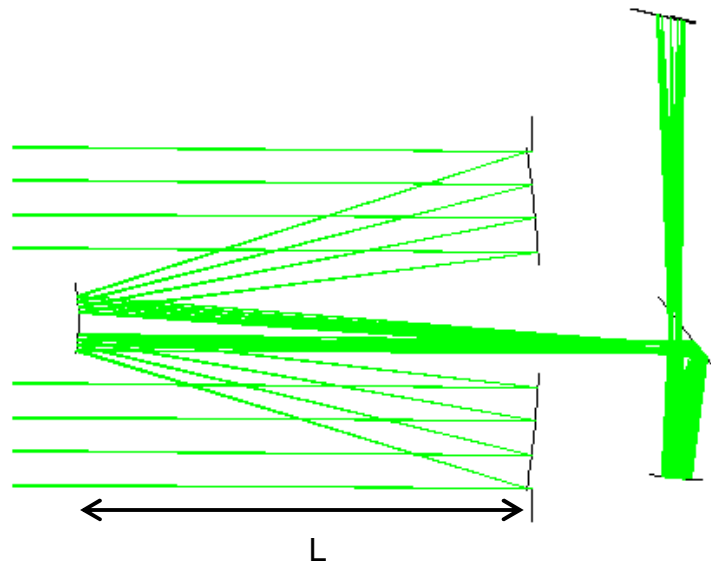
➤ A **isovolume** (et isosensibilité), l'ajout des freeform permet d'améliorer la WFE théorique et donc la WFE totale.

# Intérêt des FF pour un Korsch : application

14

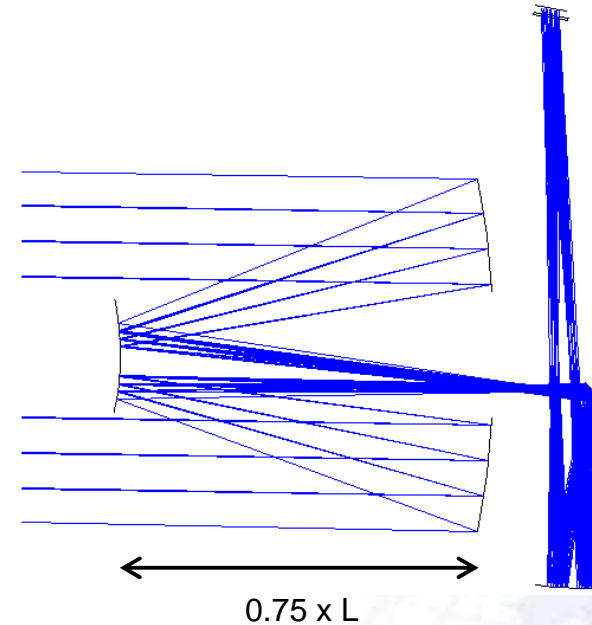
## Korsch classique

Longueur L  
Miroirs asphériques



## FF Korsch

Champ doublé  
Ouverture doublée  
Longueur  $0.75 \times L$   
Miroirs FF



THALES ALENIA SPACE INTERNAL

Il documento non deve essere riprodotto, modificato, adattato, pubblicato, tradotto in qualsiasi forma sostanziale, in tutto o in parte, né divulgato a terze parti senza il preventivo consenso scritto di Thales Alenia Space - © 2012, Thales Alenia Space

ThalesAlenia  
Space  
A Thales / Finmeccanica Company

- Dans un télescope de type Korsch, les FF sont utiles pour des champs de vue importants et des  $f\#$  faibles.
- Les FF permettent de réduire le volume des Korsch à grand champ de vue.
- Les FF ne rendent pas la combinaison moins sensible, le poste principal de chute de WFE restant le défocus du M2 pour les Korsch compacts.
- Le tolérancement montre que les FF ne rendent pas non plus la combinaison plus sensible.
- La solution proposée est réalisable et présente des gains importants:
  - Champ doublé
  - Taille du plan focal conservée
  - Volume télescope réduit

# SFO – 13/12/2017

## Export des surfaces miroirs

THALES ALENIA SPACE INTERNAL

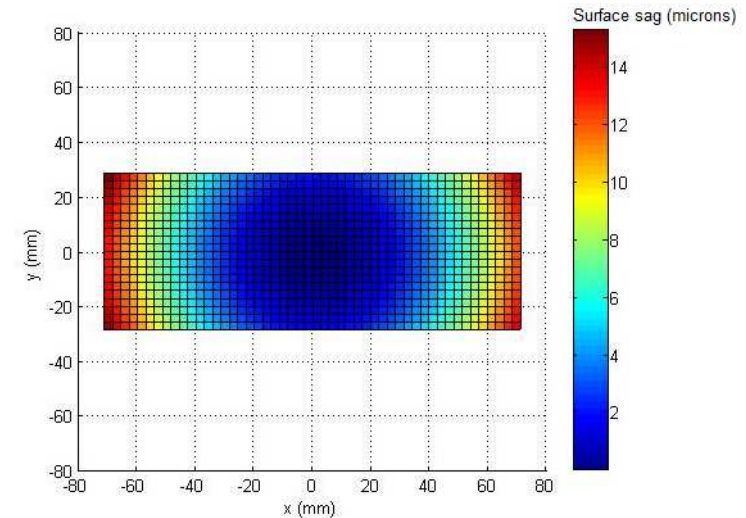
Il documento non deve essere riprodotto, modificato, adattato, pubblicato, tradotto in qualsiasi forma sostanziale, in tutto o in parte, né divulgato a terze parti senza il preventivo consenso scritto di Thales Alenia Space - © 2012, Thales Alenia Space

**ThalesAlenia**  
Space  
A Thales / Finmeccanica Company



# Export des surfaces miroirs

- Nous proposons l'export de la définition des miroirs sous deux formes:
  - Par un échantillonnage de sa surface sous la forme d'une grille de sag (fichier .xyz) compatible du ZYGO.
  - Par une description de sa surface sphérique (Rayon) et de sa composante FF (décomposition en Zernikes Fringe de Z5 à Z25).  
Pour cette dernière, on évitera les termes Z1 à Z4 et on s'efforcera de fournir un rayon de normalisation entier.  
La conique sera fondue dans les autres paramètres.



$$z = \frac{cr^2}{1 + \sqrt{1 - (1+k)c^2r^2}} + \sum_{j=1}^{66} C_{(j+1)} ZP_j$$

where

$z$	is the sag of the surface parallel to the z-axis
$c$	is the vertex curvature (CUY)
$k$	is the conic constant (see discussion on page 230)
$r = \sqrt{x^2 + y^2}$	is the radial distance
$ZP_j$	is the $j$ th Zernike polynomial (range of $j$ : 1 to 66)
$C_{j+1}$	is the coefficient for $Z_j$

# Estimation de la difficulté des FF

18

- Suite à un échange avec les différents polisseurs, nous pouvons estimer que la difficulté de réalisation des surfaces optiques est portée par 3 facteurs principaux :
  - 1/ L'écart de pente Peak-to-Valley de la déformée de la surface théorique par rapport à la meilleure sphère, exprimée en milliradians (mrad)
  - 2/ le caractère concave ou convexe de la surface : le convexe étant plus difficile.
  - 3/ la courbure : plus la courbure est forte, plus le miroir est difficile à polir
- Ces facteurs influent sur la méthode de mesure et sur le polissage qui sont intimement liés.
- Une première règle rapide dans le cas d'une mesure par CGH (Computer Generated Hologram) est la suivante, en considérant un miroir concave :
  - De 0 à 10 mrad : FF réalisable
  - De 10 à 20 mrad : FF difficile mais réalisable
  - De 20 à 40 mrad : FF très difficile et mesure par CGH non forcément possible
  - Pour des delta pentes >40mrad : possibilité de réalisation inconnue (en particulier car son contrôle ne peut être réalisé par un CGH)
- Nous souhaitons travailler avec les polisseur pour affiner le critère de difficulté qui pourrait être directement implémenté durant la phase d'optimisation afin de prendre en compte la difficulté de fabrication du miroir.