

Ministère de l'enseignement supérieur et de la recherche scientifique

Université Ferhat Abbas- Sétif 1

Institut : Optique et Mécanique de Précision

Département : Optique et Mécanique de Précision

Domaine : Sciences et Technologies

Filière : Optique et Mécanique de Précision

Spécialité : Optique et Photonique Appliquée

Mémoire de Master

Etude et conception d'un Miroir Segmenté d'un Télescope

Etudié par : Nouri Souad

Dirigé Par : Pr. Bakhouche Belkacem

Devant le jury :

(Président) Pr. A. Hamadou

(Examineur) Dr. A. Gahmousse

Soutenue le : 04/07/2023

Table des matières

Introduction générale	1
Chapitre I : Système optique du télescope	3
<i>I.1 Introduction</i>	<i>3</i>
<i>I.2 Les télescopes.....</i>	<i>3</i>
<i>I.3 Le système optique du télescope.....</i>	<i>3</i>
<i>I.4 Elément constitutifs.....</i>	<i>4</i>
I.4.1 L'objectif d'un télescope	4
I.4.2 Oculaire d'un télescope.....	4
<i>I.5 Les types de télescope.....</i>	<i>5</i>
I.5.1 Les télescopes réfractaires	5
I.5.1.1 Lunette astronomie	5
I.5.2 Les télescopes réflecteurs	5
I.5.2.1 Télescope de Newton	6
I.5.2.2 Télescope de Cassegrain	6
I.5.2.3 Le télescope de James Webb	7
I.5.3 Les télescopes catadioptriques	8
I.5.2.1 Télescope Schmidt-Cassegrain	8
I.5.2.2 Télescope Maksutov-Cassegrain	9
<i>I.6 Les caractéristiques d'un télescope</i>	<i>9</i>
I.6.1 Le diamètre d'un télescope.....	9
I.6.2 Rapport d'ouverture F/D.....	9
I.6.3 La distance focale	10
I.6.4 Le grandissement	10
I.6.5 Le rayon de courbure	11
I.6.6 Champ de vision	11
<i>I.7 Les fonctions d'un télescope</i>	<i>11</i>
I.7.1 La puissance de collection de lumière.....	11
I.7.2 La résolution	12
I.7.3 Le grossissement	12
<i>I.8 Applications des télescopes.....</i>	<i>12</i>
I.8.1 Observation astronomique	12
I.8.2 Recherche spatiale	13
I.8.3 Observation terrestre.....	13

I.8.4 Photographie	13
I.8.5 Communication	13
I.9 Conclusion.....	13
Chapitre 2 : Critères de performance des systèmes optiques.....	14
II.1 Introduction.....	14
II.2 Système optique.....	14
II.2.1 Définition	14
II.2.2 Système optique parfait	14
II.2.3 Système optique centré	15
II.2.4 Classification des systèmes optiques	15
II.2.4.1 Le système dioptrique	15
II.2.4.2 Le système catoptrique	15
II.2.4.3 Système catadioptrique	16
II.2.5 Qualité d'image d'un système optique	16
II.2.5.1 Le stigmatisme rigoureux	16
II.2.5.2 Le stigmatisme approché	16
II.2.5.3 Condition de stigmatisme approché. Approximation de Gausse.....	16
II.2.6 Indicateur de qualité d'image	17
II.2.6.1 La fonction d'étalement d'un point (PSF).....	17
II.2.6.2 Le rapport de Strehl (Strehl ratio)	19
II.2.6.3 L'énergie encerclée	20
II.2.6.4 La largeur à mi-hauteur	21
II.2.6.5 Le critère de résolution de Rayleigh.....	21
II.2.6.6 La fonction de transfert optique FTO et la fonction de transfert de modulation FTM....	22
II.2.6.7 Erreurs de L'RMS (Root Mean Square).....	24
II.7 Les aberrations optiques	25
II.7.1 Définition	25
II.7.1 Les aberrations de front d'onde et de rayon	26
II.7.1.1 Les aberrations de front d'onde	26
II.7.1.2 les aberrations de rayon.....	27
II.7.2 Les type d'aberration	28
II.7.2.1 Les aberrations chromatiques.....	28
II.7.2.2 Les aberrations géométriques ou de Seidel	30
II.7.2.3 Polynôme d'aberration ou l'aberration de Seidel	30
II.7.2.4 Les type des aberrations géométriques	32
II.8 Conclusion.....	34

Chapitre III : Etude et conception d'un Miroir segmenté	36
<i>III.1 Introduction.....</i>	<i>36</i>
<i>III.3 Le miroir segmenté.....</i>	<i>36</i>
<i>III.4 L'optique adaptative.....</i>	<i>38</i>
<i>III.5 Logiciel de la conception</i>	<i>38</i>
III.5.1 Types de fenêtres	39
III.5.1.1 Configuration (Setup)	39
III.5.1.2 Fenêtre Analyser	40
III.5.1.3 System explorer	40
III.5.1.4 Modélisation d'un système optique.....	41
<i>III.6 Conception d'un système parfait</i>	<i>41</i>
III.6.1 Présentation des caractéristiques d'un système optique parfait	42
<i>III.7 Conception d'un miroir segmenté.....</i>	<i>44</i>
III.7.1 Le télescope de James Webb	45
III.7.2 La conception d'un seul miroir segmenté	45
III.7.2.1 Configuration de (Lens Data Editor)	46
III.7.3 La conception de télescope de James Webb à un seul miroir primaire segmenté	48
III.7.4 La conception de télescope de James Webb à 18 miroirs segmentés	51
III.7.3.2 Etude et analyse des critères de performance de ce télescope James Webb	52
III.7.4 Application de conception réalisée pour le contrôle d'une onde atmosphérique	55
III.7.4.1 La turbulence atmosphérique	55
III.7.4.2 Etapes de la conception	56
III.7.4.3 Présentation des aberrations causées par l'onde atmosphérique	56
III.7.4.4 Correction des aberrations.....	58
Conclusion Générale	61

Introduction générale

La décennie passée a vu l'émergence de télescopes optiques géants de nouvelle génération de diamètre supérieur à 6 mètres. Ces télescopes, au contraire de la génération précédente de télescopes de moins de 6 mètres de diamètre, Il existe une limite technologique pour les miroirs primaires constitués d'une seule pièce de verre rigide. De tels miroirs non segmentés ou monolithiques ne peuvent pas être construits avec un diamètre supérieur à environ six mètres. L'utilisation de miroirs segmentés est donc un élément clé pour les télescopes à grande ouverture.

La technique du miroir segmenté en optique consiste à réaliser un grand miroir à partir de miroirs plus petits et juxtaposés (en général de forme hexagonale). Par exemple, le miroir primaire du James Webb d'un diamètre de 6.5 mètres est constitué de 18 segments de 1,5 mètre de diamètre. Chaque segment est contrôlé et maintenu en position de l'autre côté de sa surface afin que la surface totale préserve sa forme idéale, parabolique ou hyperbolique. Cette technique est utilisée lorsque la réalisation d'un seul très grand miroir pose des problèmes techniques difficilement surmontables. Elle est utilisée pour la réalisation des miroirs primaires des grands télescopes, à partir de 6 m de diamètre environ.

Dans ce contexte, Ce travail se concentrera sur l'étude des principes fondamentaux de la conception des miroirs segmentés, y compris l'analyse des aberrations optiques, la gestion de l'alignement des segments et l'optimisation des performances, nous avons prendre comme un modèle de simulation le télescope James Webb, nous explorerons également les différentes configurations possibles de miroirs segmentés de ce télescope, en examinant leurs avantages et leurs inconvénients respectifs, en mettant en évidence l'utilisation du logiciel Zemax pour la conception et l'optimisation. Nous analyserons les performances optiques du système, en tenant compte l'existence d'une surface virtuelle qui déforme l'onde entrante pour voir l'influence des effets de perturbation atmosphérique de l'onde entrante dans notre système optique.

La structure de ce mémoire sera divisée en trois chapitres.

Le chapitre I, fournira une base solide pour la compréhension des télescopes et de leurs fonctionnalités clés. Il jettera les bases nécessaires pour la suite de notre étude sur l'étude et la conception d'un miroir segmenté pour télescope, en utilisant le logiciel Zemax.

Nous examinerons dans le chapitre II, les différents critères de performances optiques qui sont couramment utilisés pour évaluer la qualité et les capacités d'un système optique.

Dans le chapitre III, nous expliquerons l'importance de l'utilisation du logiciel Zemax dans le processus de conception optique, nous discuterons de l'importance de l'étude et de la conception des miroirs segmentés.

En conclusion, nous discuterons des résultats obtenus et résumerons les principaux résultats obtenus

Résumé

L'étude et la conception de miroirs segmentés pour les télescopes ont acquis une importance croissante. Ils permettent d'obtenir des performances optiques élevées tout en surmontant les limitations liées à la fabrication de miroirs monolithiques de grande taille. Ce miroir segmenté utilisé dans les télescopes est composé de plusieurs segments individuels assemblés pour former une surface réfléchissante continue, généralement ce serait de forme hexagonale. Ils offrent des avantages économiques, techniques et opérationnels importants pour les télescopes, tels que : le coût de fabrication et de transport réduits, maintenance et réparations simplifiées, correction des aberrations optiques et d'améliorer la qualité du faisceau transmis ou reçu...

L'objectif de ce travail est d'approfondir la compréhension de la conception et des performances des miroirs segmentés pour télescopes, nous avons prendre comme un modèle de simulation le télescope James Webb, en mettant l'accent sur l'utilisation du logiciel Zemax, qui est un puissant outil de conception optique largement utilisé dans l'industrie et la recherche. Il permet de simuler et d'optimiser les systèmes optiques, ce qui en fait un choix idéal pour notre étude.

En exploitant la conception réalisée pour mettre une surface virtuelle qui déforme l'onde entrante pour voir l'influence des effets de perturbations atmosphériques de l'onde entrante dans notre système optique, L'image finale doit être évaluée et analysée en exploitant les outils disponibles dans Zemax, tels que ; l'aberration de rayon (Fan ray), la différence de chemin optique (OPD), le diagramme de points (Spot Diagram), la fonction d'étalement de points (PSF) et l'MTF.....

Abstract

The study and design of segmented mirrors for telescopes has increasingly earned a great attention. They allow to obtain high optical performance while overcoming the limitations associated with the manufacture of large monolithic mirrors. This segmented mirror used in telescopes is made up of several individual segments joined together to form a continuous reflecting surface, usually this would be hexagonal in shape. They offer significant economic, technical and operational advantages for telescopes, such as: reduced manufacturing and transport costs, simplified maintenance and repairs, correction of optical aberrations and improvement of the quality of the transmitted or received beam, among others.

The main aim of this work is to deepen the understanding of the design and performance of segmented mirrors for telescopes, we have taken as a simulation model the James Webb telescope, with emphasis on the use of Zemax software, which is a powerful optical design tool widely used in both fields, industry and research. It allows simulation and optimization of optical systems, which makes it an ideal choice for our study.

By exploiting the design made to put a virtual surface that deforms the incoming wave to see the influence of the effects of atmospheric disturbances of the incoming wave in our optical system, the final image must be evaluated and analyzed by exploiting the available tools in Zemax, such as; ray aberration (Fan ray), optical path difference (OPD), spot diagram (Spot Diagram), point spread function (PSF) and MTF...