

LP2020 – TÉLÉSCOPES

3 juin 2021

Nicolas Barros & Abel Feuvrier

Oui
MR C

I can see for miles and miles and miles and miles
and miles

The Who, I can see for miles

Niveau : L1 si pas d'interférences, L2 sinon

Commentaires du jury

Bibliographie

➤ *Optique fondements et applications*, **Pérez**

➤ *Optique*, **Houard**

➤ *The Art of Computer Programming*, **Knuth**

→ Complet, deux chapitres

→ Toujours utile, même dans un montage sur les moteurs.
Mais du coup sur de l'optique c'est pas mal aussi

→ Biblique

Prérequis

- Lentilles minces
- Notion de diffraction

Expériences

- ☞ Biréfringence du quartz

Table des matières

1	Présentation : télescope réfracteur	2
1.1	Dispositif et vocabulaire	2
1.2	Mieux voir un objet à l'infini	2
1.3	Ouverture de champ	2
2	Limites	2
2.1	La diffraction	2
2.2	Pollution lumineuse, turbulences de l'atmosphère	3
2.3	Aberrations	3
3	Développements récents	3
3.1	Interférométrie stellaire	3
3.1.1	Interféromètre stellaire (de Fizeau)	3
3.1.2	Interféromètre stellaire (de Michelson)	4
3.2	Optique adaptative	4
3.3	Envoyer le telescope dans l'espace	4

Introduction

De tout temps, les hommes ont [regardé le ciel](#). Sauf que c'est loin. Du coup, ils ont inventé des ustensiles pour pas se fatiguer, ces branleurs. Dans cette leçon, on définira un télescope comme un système optique permettant de "mieux voir" un objet étendu situé à l'infini optique, c'est-à-dire d'augmenter l'angle sous lequel on le voit et la quantité de lumière provenant de lui que notre oeil reçoit. On se place dans l'approximation de Gauss pour toute la leçon.

Idée fil conducteur de la leçon : y a autant de télescopes que d'applications. Y a plein de dispositifs possibles, mais y a toujours un compromis.

1 Présentation : télescope réfracteur

1.1 Dispositif et vocabulaire

Schéma, objectif/oculaire, tracer un petit rayon pour bien voir qu'on grossit l'image.

1.2 Mieux voir un objet à l'infini

On montre qu'on voit mieux les objets avec un télescope. C'est de la haute physique, mais bon, c'est une partie 1 de leçon d'agreg, et comme ça on est rigoureux par rapport à notre définition en intro0.

Système afocal pour plus de confort visuel (on rappelle qu'on regarde des objets à l'infini) : raisonner sur les objets/image pour montrer que le foyer image de l'objectif est confondu avec le foyer objet de l'oculaire.

On regarde des objets à l'infini optique $\rightarrow$ pas beaucoup de sens de parler de grandissement. En revanche, on s'intéresse au grossissement $\gamma = \alpha'/\alpha$. On raisonne sur le rayon idoine, on arrive à $\gamma = f_1/f_2$. Application numérique : Meudon, voir Pérez page 133.

Pour l'aspect collecteur de lumière, parler du cercle oculaire, montrer que le diaphragme d'ouverture = celui de l'objectif et que le diaphragme de champ = celui de l'oculaire (définir diaphragme d'ouverture et de champ avant).

1.3 Ouverture de champ

Pérez page 134. Compromis ouverture numérique/grossissement : on peut pas tout avoir. Et ça se généralise avec toutes les limites du télescope.

2 Limites

Un aperçu cool sur le site de [culturesciencesphysique](#)

2.1 La diffraction

⚡ Houard 7.3f) Limite de résolution

L'expression du grossissement peut sembler faire croire qu'il est possible d'agrandir indéfiniment les détails d'un astre. Mais non. En effet, quoi qu'en dise l'optique géométrique, la diffraction constitue une limite fondamentale liée à la nature ondulatoire de la lumière.

En considérant un objectif de diamètre D , une image ponctuelle apparaît comme une tache circulaire ou disque d'Airy, de rayon angulaire :

$$\theta_R = 1,22 \frac{\lambda}{D} \quad (1)$$

Application : la lunette pourra-t-elle résoudre deux étoiles quasi-ponctuelles séparées angulairement par un angle $\Delta\theta$. La réponse on la connaît, c'est le critère de Rayleigh : deux objets ponctuels de même luminosité sont tout juste résolus si le maximum de la figure de diffraction de l'un correspond au premier minimum de la figure de diffraction de l'autre. Faire les OdG de Houard (p173).

2.2 Pollution lumineuse, turbulences de l'atmosphère

✎ Houard 7.4.4 p185

Cependant, ce n'est pas la diffraction qui pêche en premier, mais la turbulence. En effet c'est la turbulence atmosphérique qui explique le scintillement des étoiles.

Sur le télescope, cela se manifeste comme un ensemble de tavelures -ou Speckles-, dues aux phases aléatoires. Proposer un ordre de grandeur ?

exercice : Turbulence de l'air et dégradation des images

a) Calculer la différence de chemin optique L associée à la traversée d'une veine d'air "froid" de 0.25 m d'épaisseur ayant un écart en température de 1 °C avec l'air environnant : température de l'air environnant : 300K.

L'indice de l'air est $n = 1,0002817$ à $\lambda = 400$ nm, et $(n-1)$ varie proportionnellement à la densité de l'air. On est à pression constante et on considère l'air comme un gaz parfait.

b) Cette veine d'air froid empiète sur une partie du passage de la lumière arrivant dans un télescope. Le critère de Rayleigh impose que les défauts de surface d'onde soient inférieurs à $\lambda/4$ pour maintenir une réponse impulsionnelle limitée par la diffraction. Quels sont les effets de cette lame d'air sur les images pour $\lambda = 400$ nm?

FIGURE 1 – Exo chapardé sur un site douteux, mais c'est ce que je voulais faire. La loi qui relie $(n-1)$ à ρ C'est pas du bullshit, c'est la Loi expérimentale de Gladstone -également utile pour les mirages.

corrigé de l'exercice : Turbulence de l'air et dégradation des images

$$a) \quad \Delta(n-1)/(n-1) = \Delta\rho/\rho = -\Delta T/T \quad \Rightarrow \quad \Delta n \approx -(n-1) \Delta T/T$$

$$n_2 = n_1 + \Delta n$$

$$\Delta L = e(n_2 - n_1) = e \Delta n \quad \text{donc} \quad \Delta L = -e(n-1) \Delta T/T$$

$$\text{application numérique : } \Delta L = 0.23 \cdot 10^{-6} \text{ m}$$

b) Le respect du critère de Raleigh implique que la variation de chemin optique ΔL soit inférieure à $\lambda/4$, soit 100 nm ici. On voit qu'un si faible écart de température suffit à dégrader les images.

FIGURE 2 – hehe

Solution, un peu chère mais efficace : Hubble ?

2.3 Aberrations

Aberrations chromatiques : go télescopes réflecteurs (✎ Pérez). Aberrations géométriques (toujours présentes même avec des miroirs cf [femtophysique](#) : go faire des adaptateurs bizarres pour les lentilles (montrer des exemples genre lame de Schmidt), qui ne marchent que pour certains profils de lentilles et qui peuvent re-introduire des aberrations chromatiques...

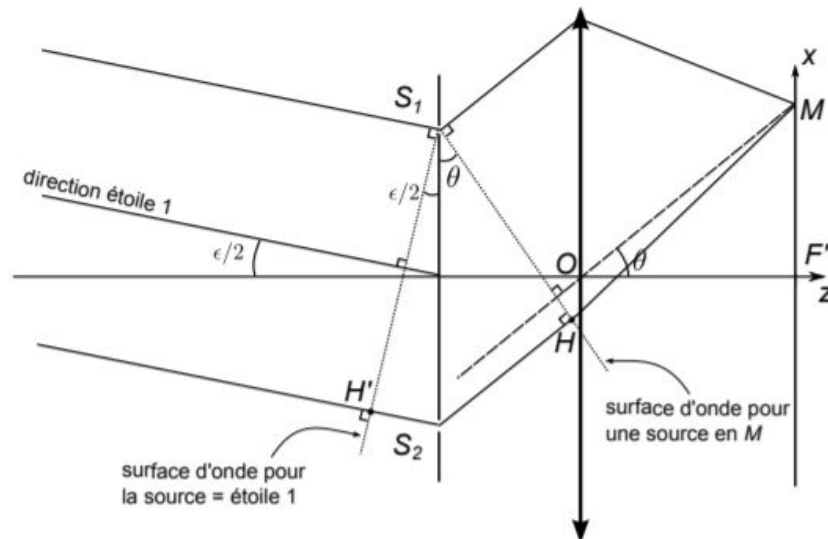
3 Développements récents

3.1 Interférométrie stellaire

Directement le Houard 7.4.5. Plein d'exos et corrections sont disponibles, je crois même que c'est dans le cours de belleza, ou même la LP cohérence de sylvio lucas. A choisir entre les deux :

3.1.1 Interféromètre stellaire (de Fizeau)

Typiquement les trous d'Young with extra steps



3.1.2 Interféromètre stellaire (de Michelson)

Typiquement Michelson with extra steps. C'est dans le huard, figure 7.5.2, sur tout en bas, et sur la LP cohérence de sylvio lucas.

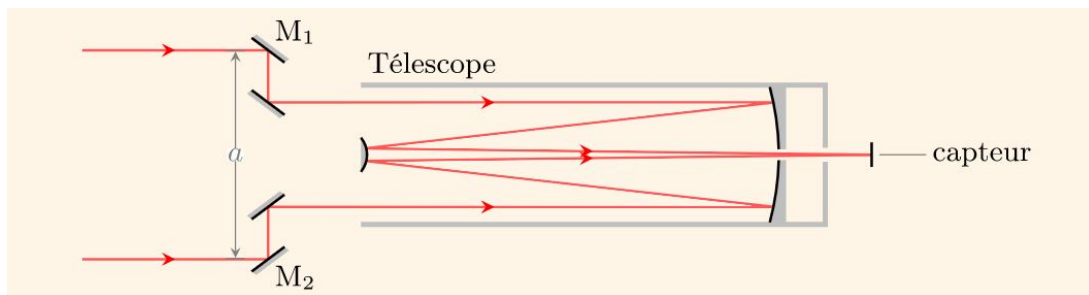


FIGURE 3 – Merci femtophysique

C'est très cool, et pousse à faire de télescopes ultra thicc au chili.

3.2 Optique adaptative

7.4.4 du Houard

la par contre ça devient technique, idée c'est juste rester qualitatif. On corrige en temps réel la déformation des images liées à la turbulence atmosphérique. On analyse les déformations du front d'onde, puis on les compense exactement à l'aide d'un miroir déformable commandé par des piezos.

3.3 Envoyer le telescope dans l'espace

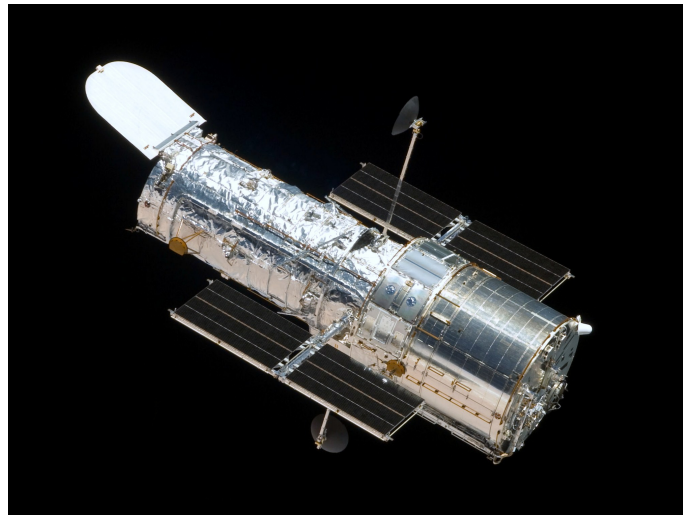


FIGURE 4 – Salut

Conclusion

Si y a une minute à tuer, anecdote pour montrer l'importance d'avoir des jolies images des cieux : la controverse autour des [canaux martiens](#) : "Il est en effet possible que les canaux observés par chaque astronome ne soient rien d'autre que la réflexion des vaisseaux sanguins de leur propre oeil par la lentille de l'objectif du télescope. Cette hypothèse peut expliquer la cohérences des relevés effectuer par la même personne ainsi que les incohérences entre différentes cartes." A prendre avec des pincettes mais c'est joli.

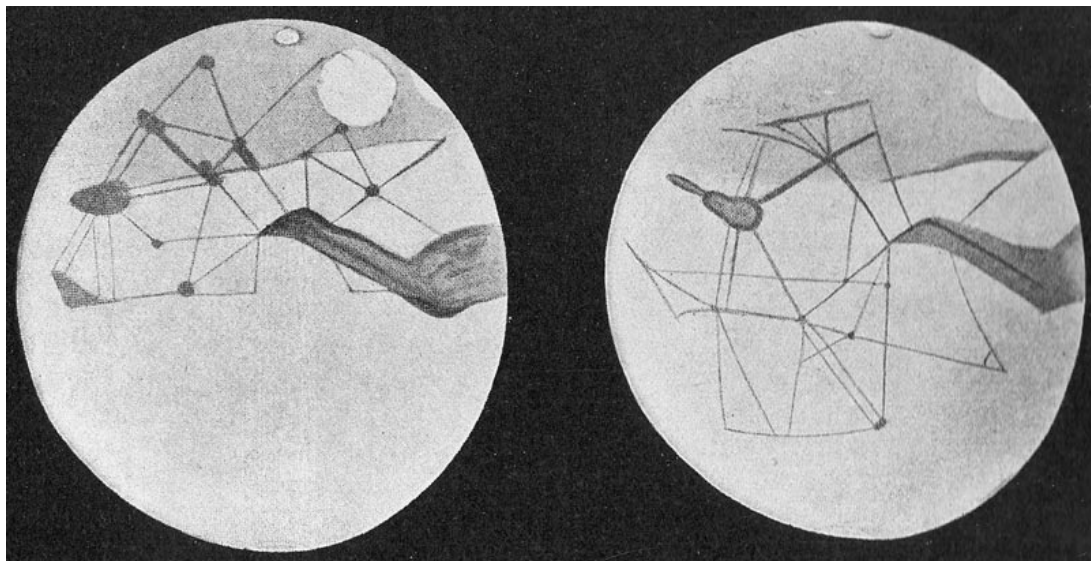


FIGURE 5 – Des canaux avec des lacs et tout sur Mars