

Licence 1 – UE PHY202

Examen d'Optique

1ère session – 10 Mai 2017 (durée 2h)

Aucun document n'est autorisé – calculatrice, règle et rapporteur conseillés.

Le sujet comporte 4 pages plus 2 documents réponses à rendre avec la copie.

La présentation et la clarté des explications sont évaluées.

Le barème est donné à titre indicatif.

I. Tracé de rayons lumineux (~4 points)

- 1) Compléter le tracé de rayons sur le document réponse 1. Indiquer dans chaque cas si l'objet est réel ou virtuel et si l'image est réelle ou virtuelle, droite ou inversée.
- 2) Un système optique comporte deux lentilles convergentes L1 et L2 :
 - L1 est une lentille de distance focale $f_1 = 3$ cm
 - L2 est une lentille de distance focale $f_2 = 6$ cm.Leurs centres optiques, respectivement O_1 et O_2 , sont séparés de $\overline{O_1O_2} = 9$ cm.

Un observateur, ayant une vue normale (punctum remotum à l'infini et punctum proximum à 25 cm) souhaite observer sans accommoder à travers ce système optique.

- A) Où doit se former l'image définitive A'B' donnée par l'ensemble des deux lentilles ? Où doit alors se former l'image intermédiaire A₁B₁ donnée par la lentille L1 de l'objet AB ?
- B) Faire un schéma optique représentant les deux lentilles :
 - Positionner les foyers des lentilles
 - Trouver par construction la position de l'objet B et celle de l'image définitive B' sachant que l'image intermédiaire A₁B₁ est dirigée vers le haut de A₁ vers B₁ et a une taille de 3 cm.

II. Transmission des ondes Radio sur Terre (~6 points)

L'atmosphère de la Terre est constituée de couches sphériques dont les propriétés (pression, température, composition) varient avec l'altitude. Pour simplifier, nous ne considérerons que 2 couches : une couche inférieure neutre, la stratosphère et une couche supérieure, partiellement ionisée sous l'effet du rayonnement solaire, appelée ionosphère. La transition entre l'ionosphère et la stratosphère se trouve à une altitude H (Fig. II-1).

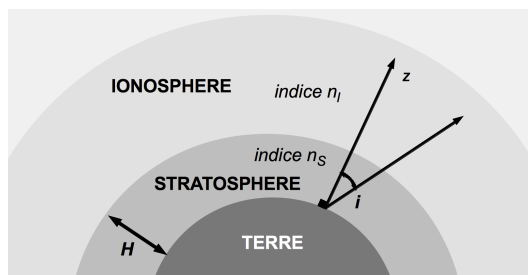


Figure II-1

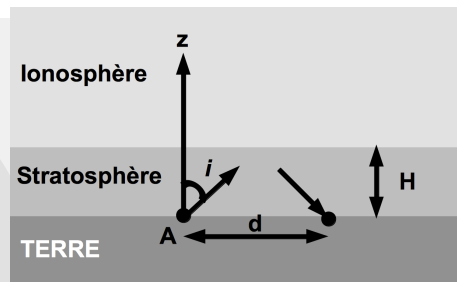


Figure II-2

On s'intéresse aux ondes radio à courte longueur d'onde (par exemple, celles utilisées par les radio amateurs) et on considère que leur propagation dans l'atmosphère terrestre obéit aux lois de l'optique géométrique.

La surface de la Terre constitue un miroir parfaitement réfléchissant pour ces ondes radio. Les couches atmosphériques, elles, sont transparentes. On note n_s l'indice correspondant à la propagation des ondes à travers la stratosphère et $n_i < n_s$ l'indice correspondant à la propagation à travers l'ionosphère.

1) Une onde radio est émise depuis le sol, selon la direction z , c'est à dire verticalement, vers le haut.

Que lui arrive-t-il ?

2) Une onde radio est émise depuis le sol, vers le haut, dans une direction faisant un angle i avec la verticale z . Quels sont les phénomènes qui se produisent à l'interface stratosphère / ionosphère ? On précisera pour chacun d'eux s'ils se produisent toujours ou sous certaines conditions seulement.

On considère désormais les couches atmosphériques comme planes (Fig. II-2)

3) A quelle condition sur i l'onde radio est-elle totalement réfléchi à l'interface stratosphère / ionosphère ? Application numérique : $n_i / n_s = 0.90$

4) Une onde est émise depuis le sol dans une direction faisant un angle $i = 70^\circ$ avec la verticale. Décrire qualitativement (c'est à dire sans calculs) ce qui lui arrive.

On s'intéresse à la propagation d'une onde radio émise en un point A de la surface de la Terre, dans une direction faisant un angle $i = 70^\circ$ avec la verticale.

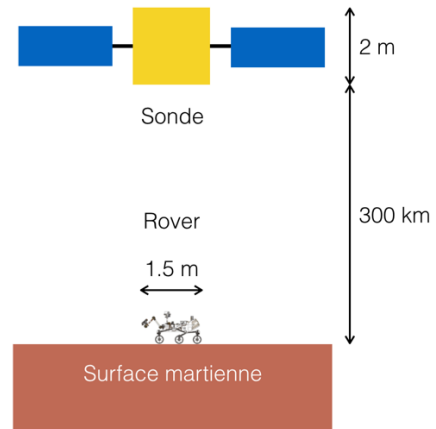
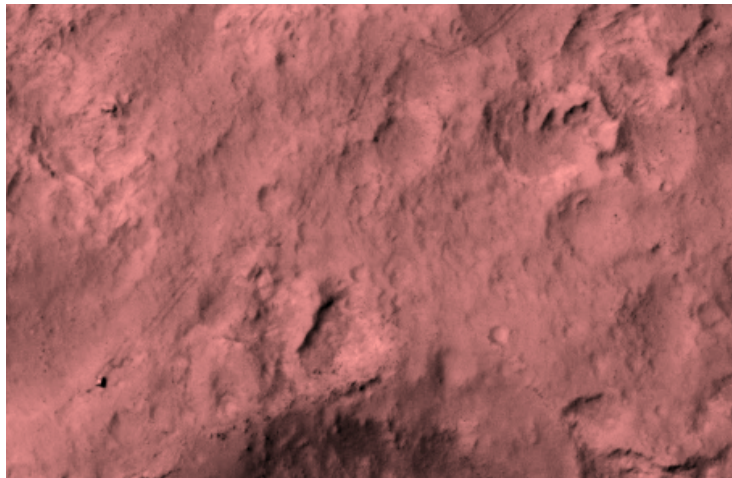
5) A quelle distance d de A a lieu la 1ère réflexion à la surface de la Terre ? Application numérique : on suppose $H = 250$ km. Que vaut d ?

6) On suppose que la vitesse de propagation de l'onde dans la stratosphère est $c_s = 300\,000$ km/s. Quel temps faut-il à l'onde pour atteindre ce point de 1ère réflexion.

7) Quelle est la vitesse de propagation c_i des ondes radio dans l'ionosphère ?

NB : Ce résultat déconcertant ne doit pas vous inquiéter ; il vient de ce que l'on désigne par « la vitesse de propagation des ondes dans l'ionosphère », question qui dépasse largement les limites de votre cours d'optique !

III- Observer un Robot sur Mars (~10 points)



Contexte : Une sonde spatiale est en orbite à 300 km au-dessus de Mars. On l'utilise notamment pour suivre la progression d'un rover posé à la surface de la planète à la verticale de la sonde. Le rover fait 1,5 m de long, et la sonde fait 2 m de haut.

Pour photographier le rover, la sonde utilise un dispositif optique formé d'une ou plusieurs lentilles, ainsi que d'un capteur carré de 4 millions de pixels (2000 sur chaque côté). Chaque pixel est un carré de 15 microns de côté (Rappel : 1 micron = 10^{-6} m).

- 1- Quelle est la taille angulaire θ exprimée en radians du rover vu depuis la sonde ? Pouvez-vous raisonnablement faire « l'approximation des petits angles » (que vous préciserez) dans le reste de l'exercice ?
- 2- On pense d'abord utiliser une seule lentille convergente, L , de focale f' pour photographier le rover. On note AB la taille du rover, $A'B'$ la taille de son image, p et p' les distances algébriques de la lentille au rover, et de la lentille à l'image.
 - a. Quelles relations existent entre AB , $A'B'$, $|p|$, $|p'|$ et θ ?
 - b. Que vaut $|p'|$ si l'image du rover occupe 3 pixels du capteur ?
 - c. Quelle relation existe entre p , p' et f' ? Que vaut $|p|$? Justifier le fait que l'on puisse considérer le rover comme étant un objet à l'infini vis-à-vis de la lentille L . En déduire la focale f' . Que pensez-vous de la faisabilité de ce dispositif ?
- 3- On s'intéresse maintenant à un système formé de deux lentilles. La focale de la première lentille, L_1 , est $f'_1 = 50$ cm. Quelle est la taille A_1B_1 de l'image du rover formée par L_1 ?

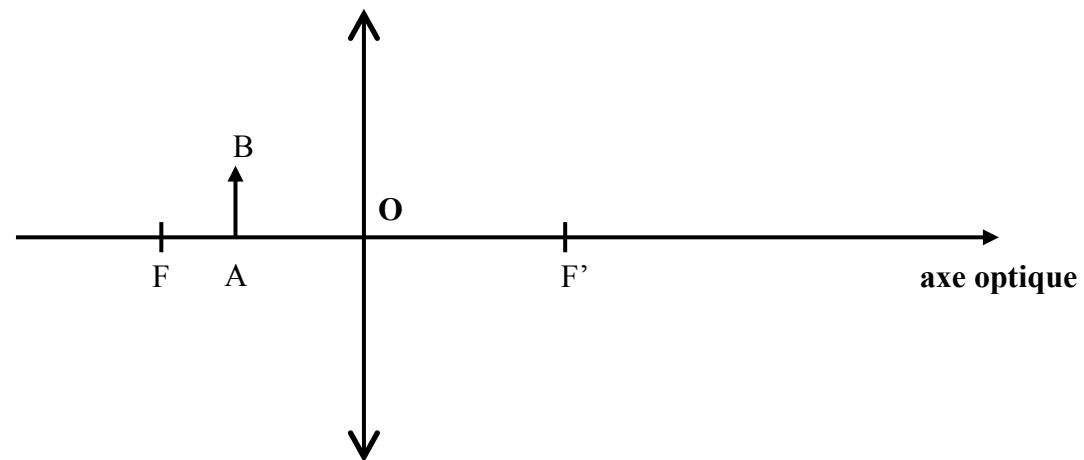
Question bonus : quel serait la taille d'un carré de surface martienne dont l'image par L_1 remplirait tout le capteur ?

- 4- On agrandit l'image formée par L_1 à l'aide d'une lentille divergente L_2 . Complétez le tracé de rayons sur le document réponse 2. En déduire une relation entre les distances O_2A_1 et O_2A_2 , et les tailles A_1B_1 et A_2B_2 . Par quel facteur γ la lentille L_2 devrait-elle agrandir l'image intermédiaire A_1B_1 pour que l'image A_2B_2 qu'elle forme occupe 3 pixels du capteur ? En déduire la relation entre les distances O_2A_1 et O_2A_2 .

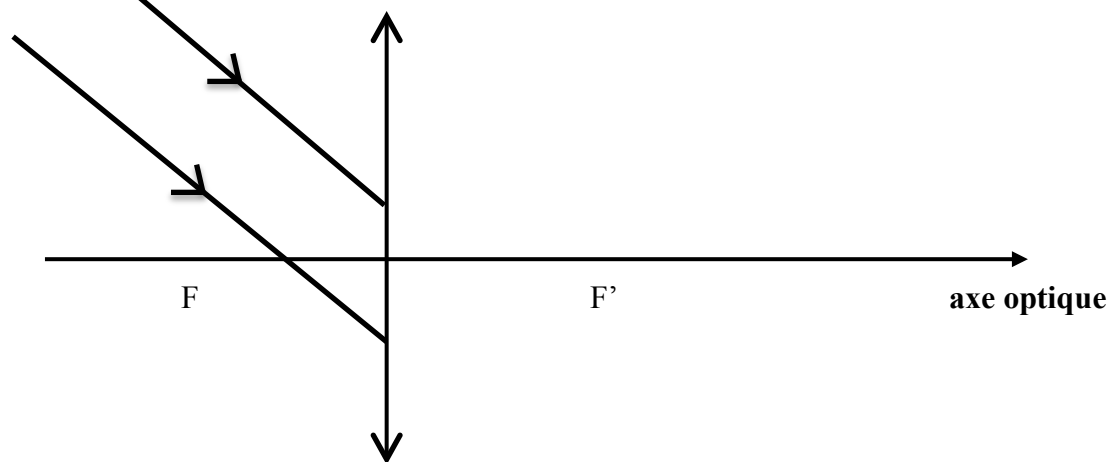
- 5- Pour des raisons d'encombrement à l'intérieur de la sonde, la distance entre L_1 et le capteur est $O_1A_2 = 1.35 \text{ m}$. En utilisant la relation entre O_2A_1 et O_2A_2 , et le fait que $O_1A_2 = O_1A_1 - O_2A_1 + O_2A_2$, calculez O_2A_2 et O_2A_1 . Utilisez ensuite la relation de conjugaison pour calculer la focale f_2' de la lentille L_2 .
- 6- Où devrait se situer l'image A_1B_1 pour que L_2 forme une image à l'infini ? Quel serait alors la taille angulaire θ_2 du rover vu à travers le dispositif si une personne (humaine) pouvait regarder à travers celui-ci ? En déduire le grossissement qu'aurait le dispositif. Serait-il suffisant pour distinguer le rover, sachant que l'acuité visuelle humaine est de $1/60^\circ$?

Question bonus : Le champ de vue offert par ce dispositif est égal à la taille angulaire sous laquelle la seconde lentille est vue depuis la première. La seconde lentille ayant un diamètre de 10 mm, calculez le champ de vue de la lunette, et déterminez la taille effective du terrain que l'on pourrait observer.

a)



b)



Partie III - Document annexe

