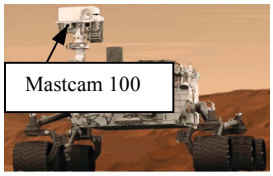
Nom : Prénom : Classe : 1ère S … Date : . . . **(/20)**

UN OBJECTIF EQUIPANT UNE SONDE ROBOT ENVOYEE SUR MARS Extrait de : http://fr.wikipedia.org/



Doc 1 : *La MASTCAM 100 est une caméra, fixée au sommet du mât du robot MSL (Mars Science Laboratory envoyé sur Mars en 2011) à une hauteur d'environ 2 m au-dessus du sol, fournissant des images en couleurs, en lumière visible et proche infrarouge.*
Elle est utilisée pour identifier les caractéristiques géologiques des terrains environnants et reconstituer la topographie du site. Elle doit également enregistrer les phénomènes météorologiques (nuages, givre, poussières soulevées par le vent).
La MASTCAM 100 est dotée d'un téléobjectif de 100 mm. La mise au point se fait de 2,10 m à l'infini : celle-ci peut être fixée par l'équipe sur Terre ou être déterminée par un autofocus. Cet appareil photo - caméra peut enregistrer des vidéos au format 720p (1280x720 pixels) à la cadence de 10 images par seconde.

Doc 2 : *La MastCam 100 offre la possibilité d'obtenir des images avec une échelle de 7,4 cm par pixel à 1 km.*
Cette caméra dispose également d'une roue à filtres, de sorte que les images, prises à travers des filtres couvrant différentes longueurs d'onde étroites, peuvent être obtenues.
Les filtres utilisés pour la MastCam 100 sont, par exemple, (en nanomètres) : 440, 525, 800, 905, 935, 1035.

Doc 3 : *Rien n'interdit a priori de réaliser un appareil photo constitué d'une seule lentille convergente L ayant une longue distance focale de 100 mm (de centre optique O). Le défaut qui apparaîtra avec cette forme optique simpliste est l'aberration chromatique : la lentille se comporte aussi comme un prisme et le plan de netteté pour la lumière visible de longueur d'onde la plus grande est en arrière par rapport à celui de la lumière visible de longueur d'onde la plus petite (voir fig 3 correspondante). Pour corriger ce problème, on utilise des doublets achromatiques : le système S_1 (voir fig 2) est constitué d'une lentille convergente L_1 accolée à une lentille divergente L_2, les 2 lentilles étant construites dans des verres ayant des indices de réfractions différents. Afin de raccourcir les longues focales, on rajoute à l'arrière de l'objectif un bloc de lentilles (système S_2 constitué des lentilles L_3 et L_4) qui permettra d'agrandir l'image obtenue sur le capteur. C'est cette conception qui est appelée téléobjectif (voir fig 2).*

Les figures fig 1 et fig 2 sont à l'échelle 1 (1,0 cm sur le dessin représente 1,0 cm dans la réalité)

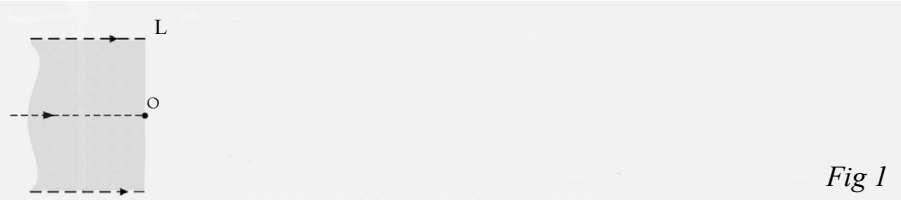


Fig 1

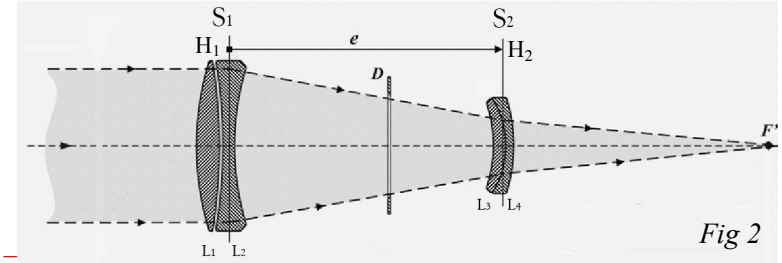
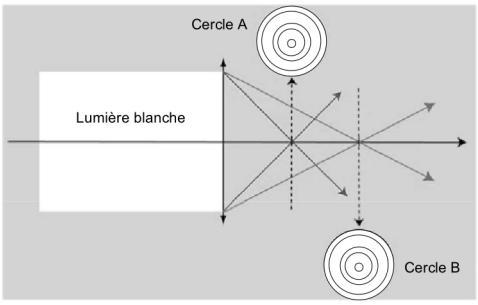


Fig 2

Fig 3



Doc 4 : *La formule de Gullstrand, donne la vergence du système complet en fonction des vergences V_1 et V_2 des deux systèmes qui le composent, de l'indice n du milieu qui les sépare (ici l'air, d'indice de réfraction $n_{(air)} = 1{,}00$) et de la distance optique (exprimée dans l'unité du système international) $e = H_1H_2$ entre leurs plans principaux des 2 systèmes optiques S_1 et S_2 :*

$$V = V_1 + V_2 - (e / n) \times V_1 \times V_2$$

Lorsque l'on considère deux lentilles minces accolées, on a :

$$V = V_1 + V_2$$

Nom : Prénom : Classe : 1ère S … Date : . . .

1) A quel(s) domaine(s) scientifique(s) est destinée la caméra MASTCAM 100 ?

2) On se place ici dans le cas où une seule lentille L est utilisée comme objectif :

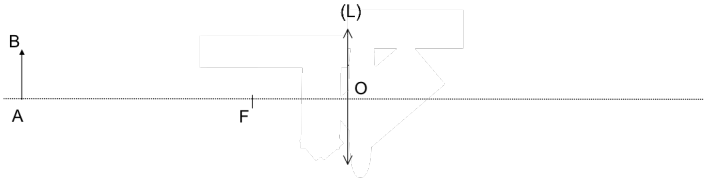
a) Sur la fig 1, schématisez la lentille convergente L (de centre optique O, de distance focale 100 mm) puis placez son foyer image F', en respectant l'échelle.

2) b) - Sur la fig1, l'objet ici étant considéré à l'infini, prolongez les 3 rayons lumineux déjà présents afin de montrer comment se propage la lumière à la sortie de la lentille.

- Sur la fig1, tracez la position du capteur CCD permettant d'y obtenir une image nette (On placera la légende : « écran en position A'_1 »)
- Déterminer la valeur de la position 1 (correspondant à OA_1') dans ce cas :

2) c) Pour un objet situé à 2,1 m, on ne peut tracer facilement les rayons provenant de l'objet, vue l'échelle des distances utilisée. On peut, par contre, trouver la position de l'image nette sur l'écran, par le calcul.

- Complétez le schéma suivant montrant la formation de l'image sur le capteur CCD à partir de rayons lumineux judicieusement choisis, sachant que le dessin n'est pas du tout à l'échelle.



- Comparez le sens et la taille de l'image par rapport à celle de l'objet

- Donnez la relation à utiliser et déterminez la valeur réelle de la position 2 (correspondant à OA_2') dans ce cas :

- Sur la fig 1, tracez la position correspondante du capteur CCD permettant d'obtenir une image nette en A_2'. (On placera la légende : « écran en position A'_2 »).
- Que va alors commander l'autofocus pour réaliser la mise au point en A_2' (position 2 de l'écran) alors qu'elle était préalablement réalisée en A_1' (position 1 de l'écran) ?

2) d) Pourquoi la Mastcam n'est elle pas conçue avec une seule lentille convergente ? Argumentez.

2) e) En faisant l'approximation que l'objectif de la Matcam 100 se réduit à une lentille convergente de distance focale 100 mm, on cherche à comparer le pouvoir de résolution de cette caméra avec celui d'un œil normal. Pour une distance d'éloignement de 3 m, quelle est la distance minimale entre 2 traits contigus que peut discerner un œil normal et la distance entre 2 traits contigus que peut discerner la Matscam100 ?

3) On se place ici dans le cas réel où l'objectif de la Mastcam est constitué des 2 systèmes S_1 et S_2. (voir la fig 2) :

a) Peut on déterminer seulement en regardant la forme des lentilles, le type des lentilles : L_1 , L_3 : convergente ou divergente ? Argumentez.

3) b) - Montrez que, graphiquement (on laissera des traits bleus permettant la détermination sur la fig 2), on peut déterminer la valeur de la distance focale du système S_1 constitué des lentilles L_1 et L_2 , et que la vergence correspondant au système S_1 est voisine de $V(S_1) = 18,5\ \delta$

3) c) En admettant que le système S_2 a une vergence $V(S_2) = -24,0\ \delta$, trouvez la distance focale totale $f'(S)$ de l'objectif de la Mastcam 100, constitué des 2 systèmes S_1 et S_2. On prendra comme valeur de la vergence correspondant au système S_1 constitué des lentilles L_1 et L_2 : $V(S_1) = 18,5\ \delta$

3) d) Chacun des filtres utilisés pour la Mastcam 100 ne laisse passer que la couleur qui correspond à la longueur d'onde précisée dans le doc 2. Donnez la couleur laissée passée par 3 des filtres utilisés dans le visible. On ne demande aucune justification.

3) e) En comparant les fig 1 et fig 2, donnez un avantage supplémentaire du téléobjectif sur un objectif constitué d'une lentille convergente seule, sachant que le téléobjectif et la lentille convergente seule ont des distances focales équivalentes (de même valeur) .

Correction ***Enoncé n° 1 :*** Enoncé en format A4, séparé de la feuille réponse format A3 (réduction des 2 pages). Les élèves éteignent leur portable qu'ils mettent dans leur sac, déposent celui-ci près du prof. La feuille de brouillon sera le dos de la feuille A3. Ils ont droit à leur stylo, crayon de couleur et calculatrice. Les voisins ont un sujet différent afin d'éviter les tentations de pompage. Si un élève répond à une question qui n'est pas sur son sujet : zéro : les prévenir. **Lecture des documents 1 à 4 (non pris en compte pour la notation) : 2 mn prof 4 mn élève. Ensuite chaque mn élève correspond à 1pt. Vu la lecture de l'énoncé reste 50 mn (d'où 50 pts, ramené sur 20 à la fin), ce qui permet aux élèves de savoir s'ils sont dans les temps. Le leur dire.**

1) Domaines scientifiques ? **1 mn 2 mn mesures et observations en géologie (1) et météorologie (1). Pas de phrase -0,5**
2) On se place ici dans le cas où une seule lentille L est utilisée comme objectif :
a) Sur la fig1, schématisez la lentille convergente L (de centre optique O, de distance focale 100 mm) puis placez son foyer image F', en respectant l'échelle.**1,25 mn 2,5mn schématisation lentille (1) , symbole F' sur fig1 (0,5) , 100 mm pour représenter distance focale (1) .**
2) b) - Sur la fig1, l'objet ici étant considéré à l'infini, prolongez les 3 rayons lumineux déjà présents afin de montrer comment se propage la lumière à la sortie de la lentille. **0,75 mn 1,5 mn tracé des 3 rayons (3*0,5) Pas de sens de propagation -0,25 traits en pointillé -0,25**
- Sur la fig1, tracez la position du capteur CCD permettant d'obtenir une image nette
(On placera la légende : « écran en position A'_1 ») **0,5 mn 1 mn tracé position écran sur foyer (0,5) , légende (0,5)**
- Déterminer la valeur de la position 1 (correspondant à OA_1') dans ce cas : **0,5 mn 1 mn**
L'image A_1' est sur le foyer image F_1' , $\underline{OA_1'} = \underline{OF_1'} = 100$ mm (1) au moins 2 chiffres significatifs autrement -0,25 valeur seule -0,25
2) c) Pour un objet situé à 2,10 m, on ne peut tracer facilement les rayons provenant de l'objet, vue l'échelle des distances utilisée. On peut par, contre trouver,la position de l'image nette sur l'écran, par le calcul.
- Complétez le schéma suivant montrant la formation de l'image sur le capteur CCD à partir de rayons lumineux judicieusement choisis, sachant que le dessin n'est pas du tout à l'échelle. **1,5 mn 3 mn 2 tracés attendus de 2 rayons et image (intersection + flèche) (0,5*4)**
absence sens propagation -0,25
L'image obtenue est plus petite que l'objet (0,5) pet de sens inversé par rapport à l'objet (renversée) (0,5)
- Donnez la relation à utiliser et déterminez la valeur de la position 2 (correspondant à OA_2') dans ce cas : **3 mn 6 mn**
On utilise la relation ou loi de conjugaison (+0,25) : $-1 / \underline{OA_2} + 1 / \underline{OA_2'} = 1 / \underline{OF_2'}$ (1)
pas de valeur algébrique 0,5, pas d'indice A'2 -0,25
D'où $1 / \underline{OA_2'} = 1 / \underline{OF_2'} + 1 / \underline{OA_2} = 1/0{,}100 - 1/ 2{,}10 = 10{,}0 - 0{,}476 = 9{,}52\ \delta$
Soit $\underline{OA_2'}$ = 1 / 9,52 = 0,105 m = 105 mm (0,5) (0,5) (0,5 signe + 0,5 valeur) (1)
(0,5) (1 et 0,5 si valeur fausse)) (0,5)
- Sur la fig 1, tracez la position correspondante du capteur CCD permettant d'obtenir une image nette en OA_2'.
(On placera la légende : « écran en position A'_2 »). **0,5 mn 1 mn décalage et position écran de 5 mm, vers la droite, sur fig 1 (0,5)**
vers la gauche 0,25 seulement, sur fig 1 (0,5) légende (0,5)
- Que va alors commander l'autofocus pour réaliser la mise au point en OA_2' (position 2 de l'écran) alors qu'elle était préalablement réaliser en OA_1' (position 1 de l'écran) ? **1 mn 2 mn L'autofocus va alors demander d'éloigner (1,5) l'objectif (la lentille convergente) de 5 mm (0,5) par rapport à la position1 de l'écran (capteur CCD) si bouger, même dans mauvais sens (0,5)**
2) d) Pourquoi la Mastcam n'est elle pas conçue avec une seule lentille convergente ? Argumentez. **2,5 mn 5 mn éleve**
La Mastcam n'est elle pas conçue avec une seule lentille convergente à cause des aberrations chromatiques (2) qui apparaîtront sur l'image observée sur un écran : en effet la lentille se comporte comme un prisme (2) et décompose la lumière blanche (2), les rayons lumineux colorés n'ont plus le même foyer image (2) avec 4 pts max. et l'image résultante n'a pas la couleur réelle de l'objet (1)
(page / 25 élève)

2) e) En faisant l'approximation que l'objectif de la Matcam 100 se réduit à une lentille convergente de distance focale 100 mm, on cherche à comparer le pouvoir de résolution de cette caméra avec celui d'un œil normal. Pour une distance d'éloignement de 3 m, quelle est la distance minimale entre 2 traits contigus que peut discerner un œil normal et la distance entre 2 traits contigus que peut discerner la Matscam100 ?
2,5 mn 5 mn Un œil jeune visualise 2 traits éloignés de 1 mm à une distance voisine de 3 m. (2)
La Mastcam visualise 2 traits éloignés de 7,4 cm à une distance voisine de 1 km. (1)
Pour 3 m, la Mastcam visualise 2 traits éloignés de $(7{,}3 * 10^{-2} * 3) / 10^{3} = 22 * 10^{-4}$ m = 220 µm = 0,22 mm. Calcul (1) résultat (1)
Remarque : Si on désire comparer : 1/0,225 = 4, la Mastcam visualise 2 traits séparés d'une distance 4 fois plus petite que pour un œil normal.
3) On se place ici dans le cas réel où l'objectif de la Mastcam est constitué des 2 systèmes S_1 et S_2. (voir la fig 2) :
a) Peut on déterminer seulement en regardant la forme des lentilles, le type des lentilles : L_1 , et L_3 : convergente ou divergente ? Argumentez. **1,5 mn 3 mn L_1 est convergente (0,5) car biconvexe (1) (bords arrondis vers l'extérieur)**
On ne peut dire si L_3 est convergente ou divergente (0,5) car elle montre une partie convexe et concave (1).
3) b) - Montrez que, graphiquement (laissez des traits bleus permettant la détermination sur la fig 2), on peut déterminer la valeur de la distance focale du système S_1 constitué des lentilles L_1 et L_2 et que la vergence correspondant au système est voisine de $V(S_1) = 18{,}5\ \delta$. **2,5 mn 5 mn**
Tracé (1) L'échelle des distances étant de 1, on mesure la distance focale $H_1F'(S_1) = 5{,}5$ cm = 55 mm (1)
$V(S_1) = 1 / H_1F'(S_1) = 1/ (5{,}5 . 10^{-2}) = 10^{-2} / (5{,}5) = 18{,}2\ \delta$
(1) (1) (1)
3) c) En admettant que le système S_2 a une vergence $V(S_2) = -24{,}0\ \delta$, trouvez la distance focale totale f '(S) de l'objectif de la Mastcam 100, constitué des 2 systèmes S_1 et S_2. On prendra comme valeur de la vergence correspondant au système S_1 constitué des lentilles L_1 et L_2 : $V(S_1) = 18{,}5\ \delta$ **3 mn 6 mn**
$V(S) = V(S_1)+V(S_2) - (e/n).V(S_1).V(S_2) = 18{,}5 - 24{,}0 + (0{,}036*18{,}5*24{,}0) = 18{,}5 - 24{,}0 + 16 = 34{,}4 - 24{,}0 = 10{,}5\ \delta$ voisin 10 δ *2 mn 4 mn*
(0,5) (0,5) (0,5) (0,5) (1) (1)
f '(S) = 1 /V(S) = 1/ 10,0 = 0,100 m = 100 mm (valeur donnée dans le nom mastcam 100) *1 mn 2 mn*
(0,5) (0,5) (1)
3) d) Chacun des filtres utilisés pour la Mastcam 100 ne laisse passer que la couleur qui correspond à la longueur d'onde précisée dans le doc2. Donnez la couleur laissée passée par 3 des filtres utilisés dans le visible. On ne demande aucune justification. **1,5 mn 3 mn**
440 nm correspond au violet ou 525 nm au vert ou 800 nm à l'extrême rouge (1*2), les autres (1) 905 nm, 935 nm, 1035 nm au proche infrarouge. On passe à la couleur suivante par tranche approximative de 50 nm (le violet commençant à 400 nm, le rouge étant plus étendu que les autres couleurs et se terminant à 800 nm). Pas d'unité en nm alors 0,5 pt enlevé
3) e) En comparant les fig 1 et fig 2, donnez un avantage supplémentaire du téléobjectif sur un objectif constitué d'une lentille convergente seule, sachant que le téléobjectif et la lentille convergente seule ont des distances focales équivalentes (de même valeur). **1,5 mn 3 mn**
L'encombrement (ou taille) du téléobjectif est plus petit (2) (75 mm à partir de l'extrémité de la lentille L_1, 70 mm à partir du centre optique de S_1) que celui de la lentille L seule (100 mm) pour une distance focale équivalente de 100 mm. (1),
(page / 25 élève)