



**LE RÉSEAU DE CRÉATION
ET D'ACCOMPAGNEMENT PÉDAGOGIQUES**

**Ce document a été mis en ligne par le Canopé de l'académie de Bordeaux
pour la Base Nationale des Sujets d'Examens de l'enseignement professionnel.**

Ce fichier numérique ne peut être reproduit, représenté, adapté ou traduit sans autorisation.

BREVET DE TECHNICIEN SUPÉRIEUR GENIE OPTIQUE

Option PHOTONIQUE

Épreuve de PHYSIQUE APPLIQUÉE

Sous-épreuve U42 : PHYSIQUE

SESSION 2014

Durée 2 heures 30

coefficient 2,5

La clarté des raisonnements et la qualité de la rédaction interviendront pour une part importante dans l'appréciation des copies.

Matériel autorisé :

Calculatrice conformément à la circulaire n° 99-186 du 16/11/1999

Sont autorisées toutes les calculatrices de poche, y compris les calculatrices programmables, alphanumériques ou à écran graphique à condition que leur fonctionnement soit autonome et qu'il ne soit pas fait usage d'imprimantes.

Le candidat n'utilise qu'une seule machine sur la table. Toutefois, si celle-ci vient à connaître une défaillance, il peut la remplacer par une autre.

Afin de prévenir les risques de fraude, sont interdits les échanges de machines entre les candidats, la consultation des notices fournies par les constructeurs ainsi que les échanges d'informations par l'intermédiaire des fonctions de transmission des calculatrices.

Tout autre matériel est interdit.

Dès que le sujet vous est remis, assurez-vous qu'il est complet.

Ce sujet comporte : 11 pages numérotées de 1/11 à 11/11.

Documents à rendre avec la copie :

DOCUMENT RÉPONSE 1..... page 10/11

DOCUMENT RÉPONSE 2..... page 11/11

BTS GÉNIE OPTIQUE OPTION PHOTONIQUE	SUJET	SESSION 2014
U 42 : Physique appliquée	Code : GOPHYPH	Page : 1/11

ANALYSEUR DE FRONT D'ONDE

Un analyseur de front d'onde permet de déterminer la géométrie des fronts d'ondes traversant les systèmes optiques à tout instant. L'intérêt d'un tel dispositif est de permettre à un opérateur de connaître puis de corriger les défauts liés aux instruments (optique active) ou aux perturbations atmosphériques (optique adaptative).

En optique active, on corrigera par exemple les défauts de surface (liés au poids ou à la température) des miroirs des grands télescopes. En optique adaptative, on modifiera en temps réel la forme des miroirs pour corriger les perturbations dues aux turbulences atmosphériques. L'optique adaptative permet également de corriger les formes des surfaces d'onde pour les lasers à haute énergie, de manière à mieux concentrer l'énergie lumineuse.

La *figure 1* ci-dessous représente un banc d'analyse comprenant une diode laser collimatée, un élargisseur de faisceau, un miroir déformable, un cube séparateur, un analyseur de front d'onde et une caméra de visualisation, reliée à un écran de contrôle.

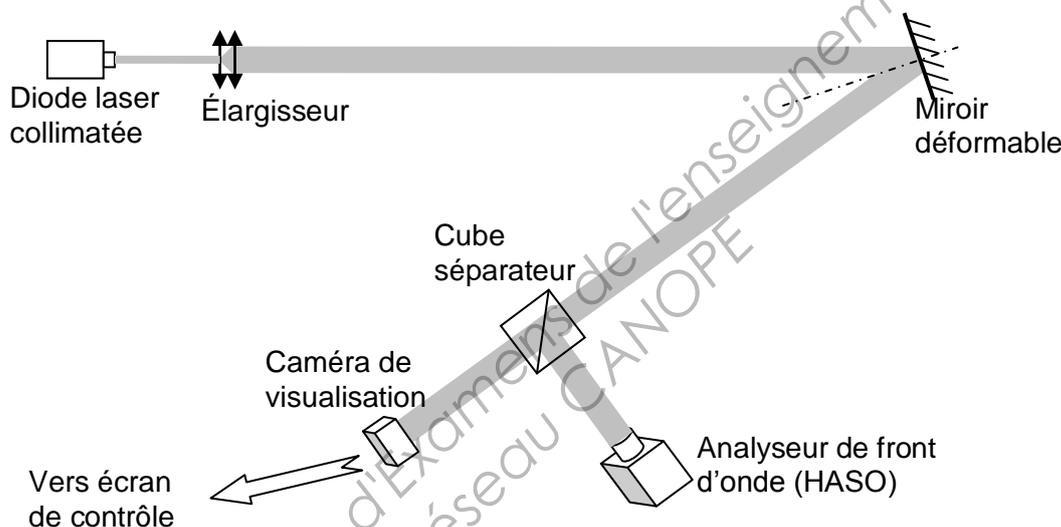


figure 1

Dans ce problème, on se propose d'étudier quelques éléments du banc en phase d'étalonnage.

Le banc pourra ensuite être utilisé en phase de mesure pour étudier la forme de surfaces optiques placées sur le trajet du faisceau élargi, entre le miroir déformable et le cube séparateur, afin de déterminer les aberrations géométriques engendrées.

Le sujet comprend quatre parties indépendantes :

PARTIE A : LA LENTILLE DE COLLIMATION SELFOC (6 points)

PARTIE B : L'ANALYSEUR DE FRONT D'ONDE (8 points)

PARTIE C : LA DIODE LASER (3,5 points)

PARTIE D : UTILISATION DU SYSTÈME EN OPTIQUE ACTIVE (2,5 points)

Remarque :

Lors de l'écriture de résultats numériques, la plus grande attention devra être portée aux chiffres significatifs et aux unités.

BTS GÉNIE OPTIQUE OPTION PHOTONIQUE	SUJET	SESSION 2014
U 42 : Physique appliquée	Code : GOPHYPH	Page : 2/11

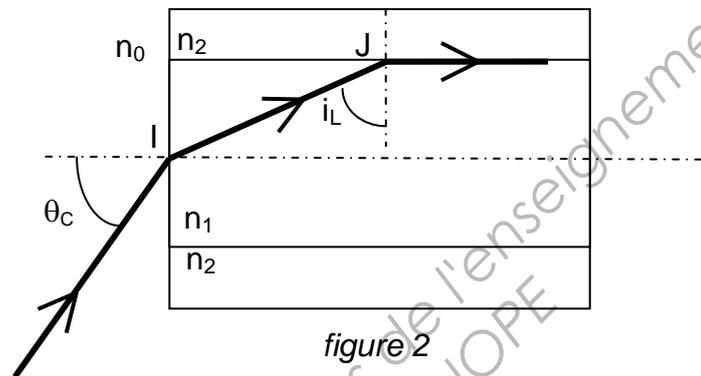
PARTIE A : LA LENTILLE DE COLLIMATION SELFOC (6 points)

La diode laser est collimatée par une lentille SELFOC caractérisée par l'ouverture numérique ON. Les lentilles SELFOC sont des barreaux à gradient d'indice, assimilables à de courtes fibres optiques.

$ON = n_0 \cdot \sin\theta_C = 0,46$ Indice de l'air $n_0 = 1,0$

Les questions A.1 à A.4 sont relatives à une fibre à saut d'indice.

A.1. L'angle du cône d'acceptance de la lentille est noté θ_C . L'indice du milieu d'entrée, ici l'air, est noté n_0 .



La *figure 2*, ci-dessus, montre le trajet d'un rayon extrême pénétrant en I dans une fibre à saut d'indice, se propageant dans un plan méridien et subissant la réflexion limite à l'interface cœur-gaine optique.

On note i_L l'angle d'incidence correspondant à la réflexion limite en J.

A.1.1. Quel phénomène physique permet le guidage de la lumière par une fibre optique à saut d'indice ?

A.1.2. Pour une fibre optique à saut d'indice, préciser si la valeur de l'indice du cœur noté n_1 , doit être plus petite ou plus grande que celle de l'indice n_2 de la gaine optique.

A.2. À partir de la *figure 2*, écrire les relations liées aux réfractons en I et en J.

A.3. En déduire que pour une fibre à saut d'indice placée dans l'air l'ouverture numérique ON est donnée par la relation $ON = \sqrt{n_1^2 - n_2^2}$, où n_1 est l'indice du cœur et n_2 l'indice de la gaine optique.

A.4. Calculer la valeur de l'ouverture numérique ON pour $n_1 = 1,56$ et $n_2 = 1,49$.

Les questions A.5 à A.8 sont relatives à une fibre à gradient d'indice.

A.5. À partir de la valeur de l'ouverture numérique de la lentille SELFOC, calculer la valeur de l'angle d'acceptance θ_c .

A.6. En déduire que la lentille SELFOC permet de guider la quasi-totalité de la lumière émise par la diode laser, dont les angles de divergence sont de 8° et 30° .

A.7. Pour une lentille à gradient d'indice, l'indice varie de l'axe jusqu'à la gaine optique selon la relation $n(r) = n_1 \cdot \left[1 - \Delta \cdot \left(\frac{r}{a} \right)^2 \right]$, si $\left| \frac{r}{a} \right| \leq 1$ et $n(r) = n_2$, si $\left| \frac{r}{a} \right| > 1$

Avec :

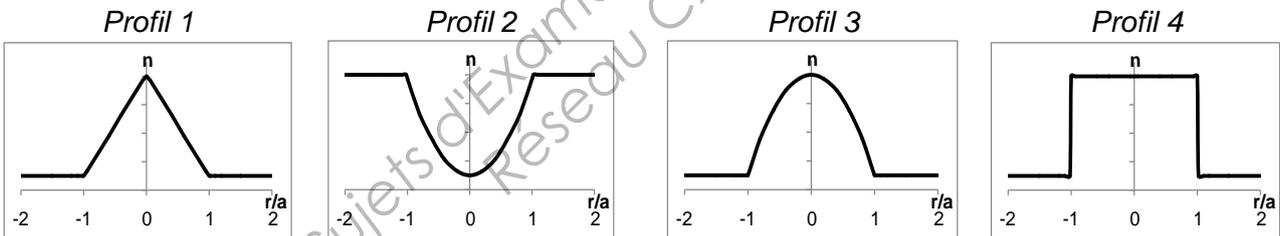
a rayon du cœur de la fibre

r distance à l'axe

$\Delta = \frac{n_1 - n_2}{n_1}$ écart relatif entre l'indice n_1 sur l'axe de la fibre et l'indice n_2 de la gaine optique

A.7.1. Exprimer $n(r = 0)$ et $n(r = a)$ en fonction de n_1 et n_2 .

A.7.2. Parmi les quatre profils d'indices tracés sur l'intervalle $\frac{r}{a} \in [-2 ; +2]$, trouver celui qui correspond à la relation donnée ci-dessus en justifiant brièvement. (On pourra procéder par élimination.)



L'ouverture numérique de la lentille SELFOC s'écrit $ON = \sqrt{n_1^2 - n_2^2}$.

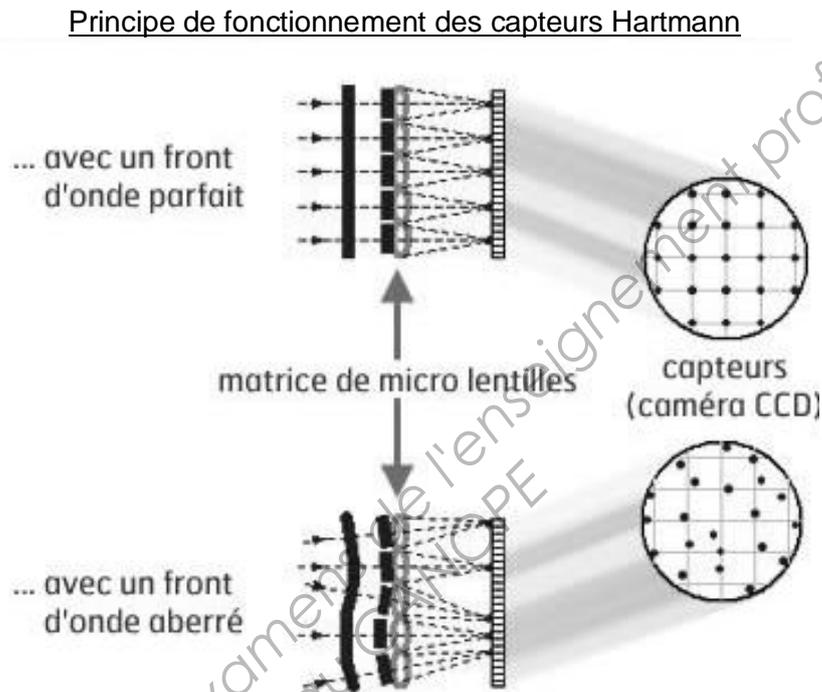
A.8. En utilisant l'écart relatif entre les indices Δ , calculer les valeurs des indices n_1 et n_2 .

$$\Delta = 4,45 \times 10^{-2}$$

$$ON = 0,46$$

PARTIE B : L'ANALYSEUR DE FRONT D'ONDE (8 points)

L'analyseur de front d'onde HASO (**H**artmann **A**nalyseur de **S**urface d'**O**nde) est constitué d'une matrice de microlentilles de sections carrées et d'une matrice CCD située à la distance focale des microlentilles (voir *schéma 1* du document réponse 1 page 10). Chaque microlentille donne, d'un élément de front d'onde σ , une petite tache image sur la matrice CCD. Les petites taches se déplacent sur la matrice CCD et c'est la connaissance très précise de chaque déplacement qui permet de déterminer la forme de la surface d'onde (voir *figure 4* ci-dessous).



Crédit : Imagine Optic

La matrice de microlentilles carrées couvre exactement la surface du capteur CCD.
La focale des microlentilles est notée f_m' .
Le capteur CCD possède une matrice de 512 x 512 pixels.
(Remarque : la section carrée d'une microlentille n'altère pas son fonctionnement.)

Dimensions de la matrice de microlentilles : 5,12 mm x 5,12 mm
Dimensions d'une microlentille : 160 μm x 160 μm
Dimensions d'un pixel : 10,0 μm x 10,0 μm
 $f_m' = 6,0$ mm

B.1. Calculer le nombre de microlentilles N_b que la matrice contient.

B.2. Calculer la valeur du nombre d'ouverture $N = \frac{f_m'}{a}$, où a désigne le côté de la microlentille.

BTS GÉNIE OPTIQUE OPTION PHOTONIQUE	SUJET	SESSION 2014
U 42 : Physique appliquée	Code : GOPHYPH	Page : 5/11

Sur le schéma 1 du document réponse 1 page 10, une portion de surface d'onde a été schématisée par trois segments de droite σ_1 , σ_2 et σ_3 , arrivant respectivement sur les microlentilles L_1 , L_2 et L_3 .

B.3. Sur le **schéma 1 du document réponse 1 page 10 à rendre avec la copie**, tracer la marche des faisceaux correspondant à chaque segment et couvrant la microlentille correspondante. On rappelle que les rayons lumineux sont perpendiculaires aux surfaces d'onde.

B.4. On considère que chaque faisceau se concentre en un point après avoir traversé une lentille.

B.4.1. Comment nomme-t-on le point sur lequel se concentre le faisceau correspondant à la portion de surface d'onde σ_2 ?

B.4.2. Comment nomme-t-on les points sur lesquels se concentrent les faisceaux correspondants respectivement aux portions de surface d'onde σ_1 et σ_3 ?

On appelle φ_x l'inclinaison de l'élément de surface d'onde σ arrivant sur la microlentille L (voir *figure 5* ci-dessous). On note d_x la distance entre le point de focalisation et le foyer F_m' .

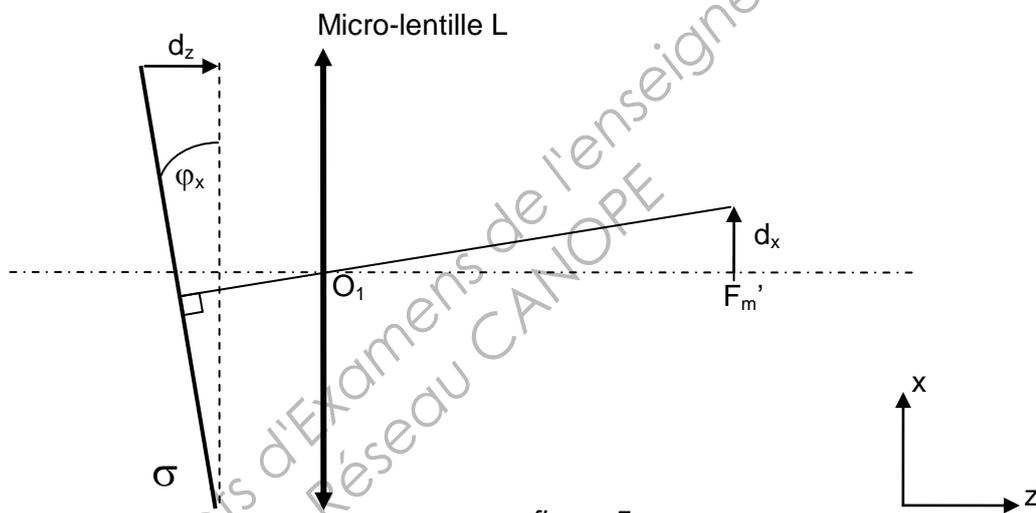


figure 5

B.5. Montrer à l'aide d'un schéma que $\tan \varphi_x = \frac{d_x}{f_m'}$.

B.6. On suppose que la mesure du déplacement d'une tache sur le capteur se fait avec la résolution d'un pixel (d_x correspond à la dimension d'un pixel).

B.6.1. Quelle est dans ces conditions la valeur minimale de l'inclinaison φ_x que l'on peut mesurer ?

B.6.2. En tenant compte de la dimension de la microlentille, quelle est alors la valeur du défaut longitudinal d_z du front d'onde correspondant (d_z est défini sur la *figure 5*) ?

B.7. Le fabricant annonce une précision sur le front d'onde de $\lambda/100$ à 630 nm.

B.7.1. Comparer le résultat sur la valeur de d_z trouvée précédemment à la précision annoncée par le constructeur.

La précision annoncée correspond-elle à la résolution d'un pixel sur le capteur ?

B.7.2. Quel déplacement minimal $d_{x\min}$ de la tache image sur le capteur, exprimé en fraction de pixel, correspond à la précision annoncée ?

BTS GÉNIE OPTIQUE OPTION PHOTONIQUE	SUJET	SESSION 2014
U 42 : Physique appliquée	Code : GOPHYPH	Page : 6/11

Le fabricant annonce que le logiciel de traitement peut déterminer la position de la tache donnée par une microlentille pour un déplacement maximum de $d_{\text{max}} = 500 \mu\text{m}$.

B.8. Quelle est la valeur de l'inclinaison maximale φ_{max} mesurable ?

On considère que chaque faisceau subit le phénomène de diffraction par une microlentille. Ainsi, après avoir traversé une lentille, un faisceau donne une tache image.

B.9. Le rayon de la tache principale de diffraction est donnée par la relation $r = \frac{\lambda \cdot f_m'}{a}$, où a désigne le côté de la microlentille.

B.9.1. Calculer la valeur du rayon r puis indiquer si la tache principale peut être détectée par un seul pixel.

B.9.2. Dans les trois figures de diffraction proposées ci-dessous (figure 6), l'intensité lumineuse est représentée en niveau de gris. Choisir, en justifiant brièvement, celle qui correspond à la diffraction d'un faisceau par une des microlentilles.

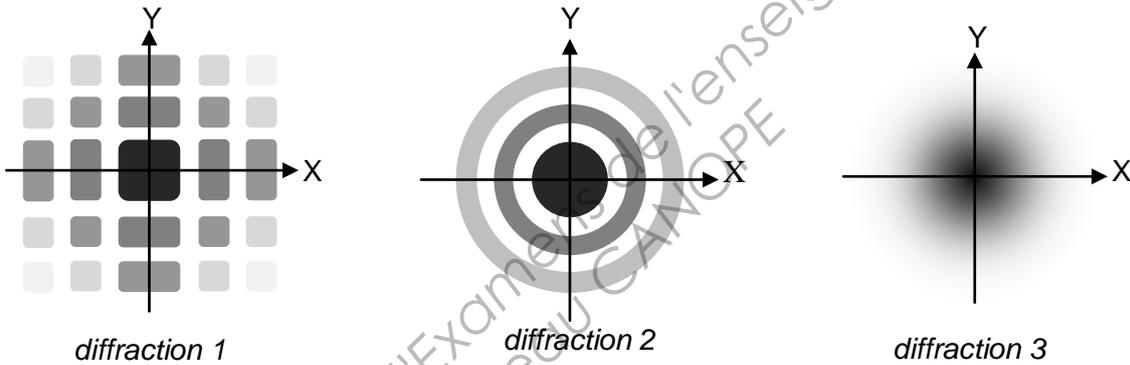


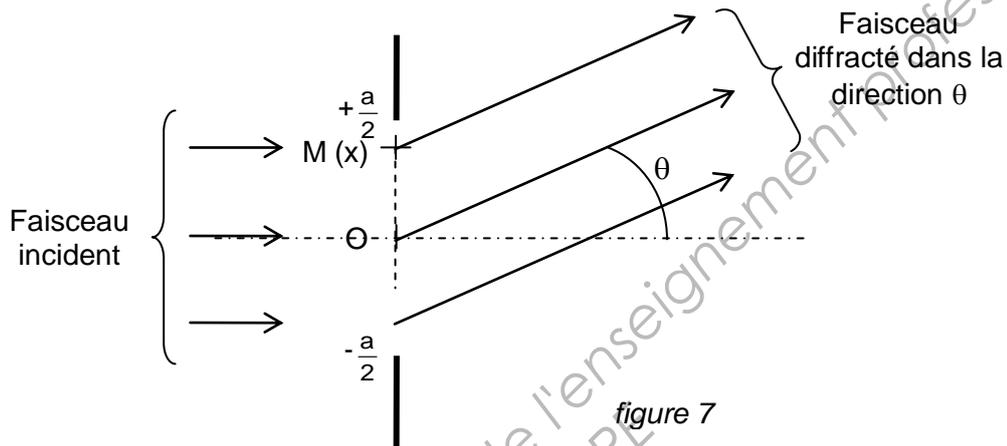
figure 6

PARTIE C : LA DIODE LASER (3,5 points)

Les angles de divergence du faisceau émis par la diode laser sont de 8° et 30°. On se propose de déterminer les dimensions transversales de la diode laser en émettant l'hypothèse que la divergence n'est due qu'au phénomène de diffraction (cas de la diffraction de Fraunhofer à l'infini).

C.1. On considère une onde plane, de longueur d'onde λ , arrivant perpendiculairement sur une fente infiniment longue de largeur a .

La *figure 7* ci-dessous représente la diffraction d'un faisceau incident cylindrique d'axe perpendiculaire au plan de la fente, dans une direction d'observation θ .



C.1.1. Indiquer sur le **schéma 2 du document réponse 1 page 10**, la différence de marche δ du rayon issu de M par rapport au rayon issu de O dans la direction d'observation θ .

C.1.2. Exprimer δ en fonction de l'abscisse x du point M et de l'angle θ .

C.1.3. En déduire que le déphasage φ entre les deux rayons s'écrit : $\varphi = \frac{2\pi \cdot x \cdot \sin \theta}{\lambda}$.

C.1.4. Donner l'expression φ_0 du déphasage maximal (M sur le bord supérieur de la fente) en fonction de a , θ et λ .

C.2. On montre que l'intensité diffractée dans la direction d'observation θ a pour expression

$$I_{(\theta)} = I_{\max} \cdot \left(\frac{\sin \varphi_0}{\varphi_0} \right)^2.$$

C.2.1. Le premier zéro d'intensité est obtenu pour $\varphi_0 = \pi$. En déduire que le premier zéro d'intensité est vu dans la direction θ , telle que $\sin \theta = \frac{\lambda}{a}$.

C.2.2. On suppose que la divergence n'est due qu'au phénomène de diffraction. Calculer les valeurs des dimensions transversales a et a' de la fenêtre de la diode laser lorsque les angles de divergence du faisceau émis sont de 8° et 30°.

BTS GÉNIE OPTIQUE OPTION PHOTONIQUE	SUJET	SESSION 2014
U 42 : Physique appliquée	Code : GOPHYPH	Page : 8/11

PARTIE D : UTILISATION DU SYSTÈME EN OPTIQUE ACTIVE (2,5 points)

Le système est mis en œuvre afin de déterminer la qualité de collimation de la diode laser et de corriger un éventuel défaut grâce au miroir déformable.

Le schéma 3 du document réponse 2 page 11 présente le trajet d'un rayon lumineux « réel » issu d'un élément de surface d'onde σ (supposé plan), émis par la diode laser collimatée ainsi que sa direction « idéale ». Les deux directions forment entre elles un angle noté θ .

Un défaut de 2 pixels vers le « bas » ($d_x = -2$ pixels) est détecté sur le capteur CCD.

D.1. Calculer la valeur du défaut angulaire θ du rayon réel par rapport à la direction « idéale ».

Taille d'un pixel : $10 \times 10 \mu\text{m}$
--

$f_m' = 6,0 \text{ mm}$

En tournant le miroir, on veut rendre le rayon réfléchi « réel » parallèle à la direction réfléchie « idéale ».

D.2. De quel angle (en fonction de θ) l'élément de miroir doit-il être tourné et dans quel sens (+ ou -) ?

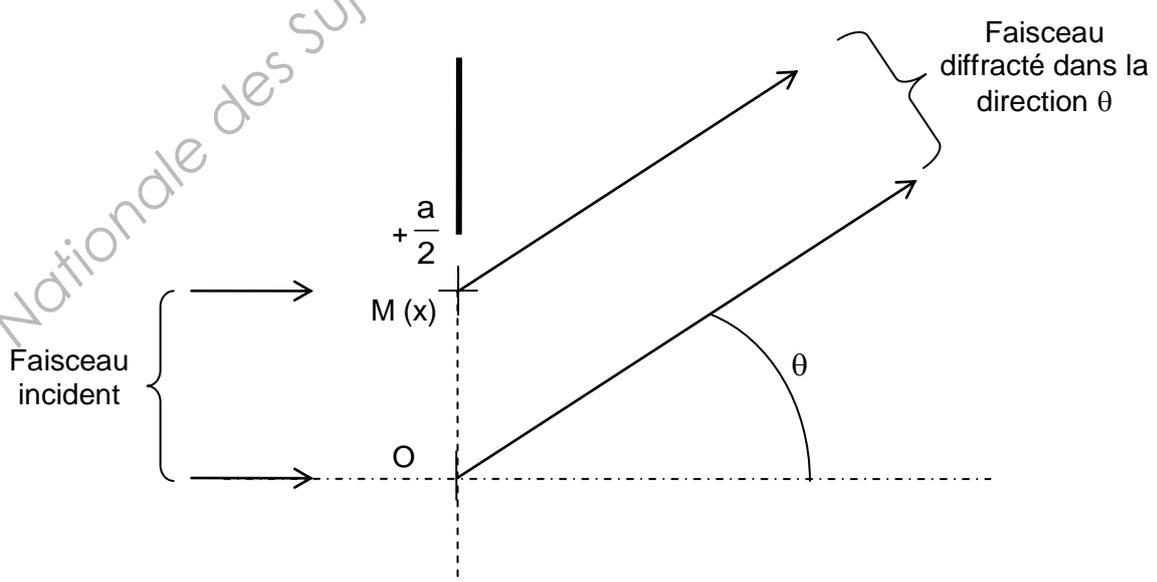
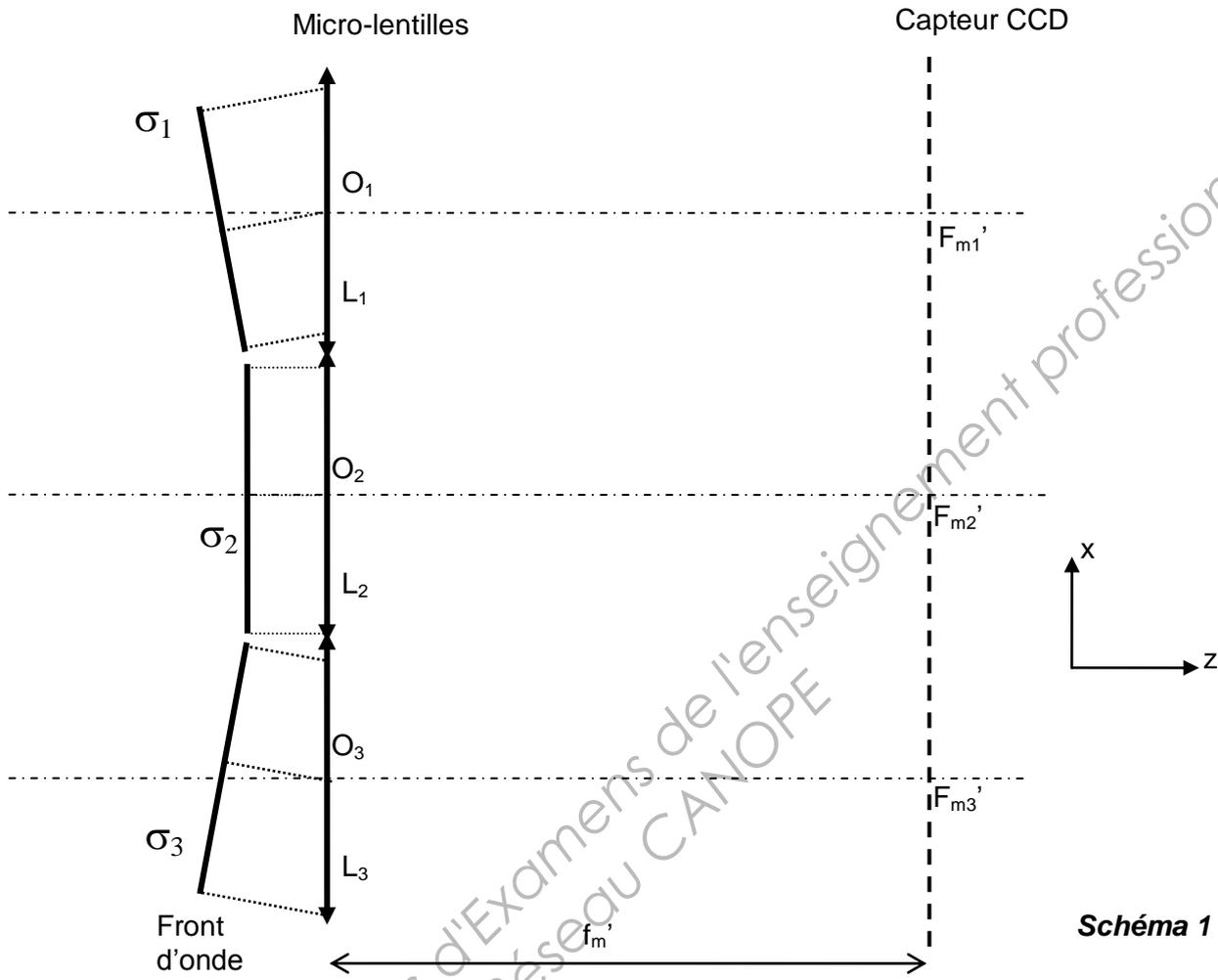
On suppose que la rotation du miroir s'effectue autour d'un axe (Δ) perpendiculaire au plan du schéma passant par le point d'incidence I.

On suppose également que les angles d'incidence au niveau des faces d'entrée et de sortie du cube séparateur sont suffisamment faibles pour pouvoir négliger la déviation des rayons.

D.3. Compléter le schéma 3 du document réponse 2 page 11 lorsque la correction est réalisée en traçant la nouvelle orientation du miroir ainsi que le trajet du rayon réel corrigé.

Base Nationale des Sujets d'Examens de l'enseignement professionnel
Réseau CANOPE

**DOCUMENT RÉPONSE 1
À RENDRE AVEC LA COPIE**



Base Nationale des Sujets d'Examens de l'enseignement professionnel
Réseau CANOPE

**DOCUMENT RÉPONSE 2
À RENDRE AVEC LA COPIE**

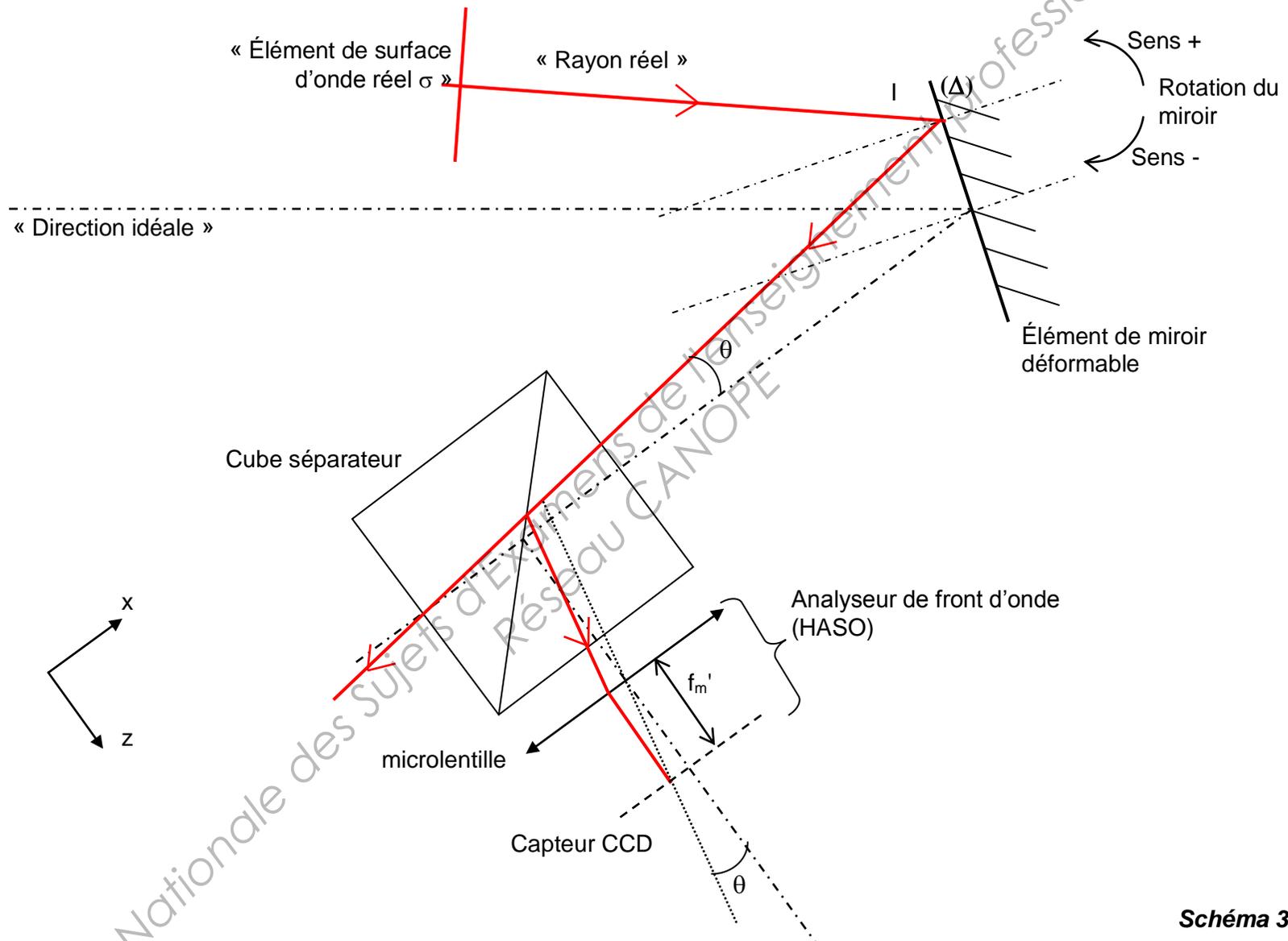


Schéma 3

BTS GÉNIE OPTIQUE OPTION PHOTONIQUE	SUJET	SESSION 2014
U 42 : Physique appliquée	Code : GOPHYPH	Page : 11/11