



SERVICES CULTURE ÉDITIONS  
RESSOURCES POUR  
L'ÉDUCATION NATIONALE

**Ce document a été numérisé par le CRDP de Bordeaux pour la  
Base Nationale des Sujets d'Examens de l'enseignement professionnel**

**session 2011**

<p style="text-align: center;"><b>BREVET DE TECHNICIEN SUPÉRIEUR GÉNIE OPTIQUE</b></p>
--

**option OPTIQUE INSTRUMENTALE**

**Épreuve de PHYSIQUE APPLIQUÉE**

**Sous-épreuve U42 : PHYSIQUE**

**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 : 8 pages numérotées de 1/8 à 8/8*

**Documents à rendre avec la copie :**

**ANNEXE 1.....page 7/8**

**ANNEXE 2.....page 8/8**

# LE MICROSCOPE CONFOCAL

Inventé par M. MINSKY en 1957, le microscope confocal possède une résolution axiale améliorée d'environ 30 % par rapport à un microscope classique.

Les versions récentes sont munies d'une source laser, d'un système de balayage de l'échantillon et d'un système informatique d'acquisition (Microscope Confocal à Balayage Laser ou CLSM). Ils permettent de réaliser des images point par point dans différents plans d'un échantillon et d'en reconstituer ainsi une image en trois dimensions, ce qui les rend indispensables pour les recherches en biologie et en science des matériaux.

Le schéma de principe de ce type d'instrument est donné **figure 1** ci-dessous. Par souci de clarté les proportions réelles n'ont pas été respectées.

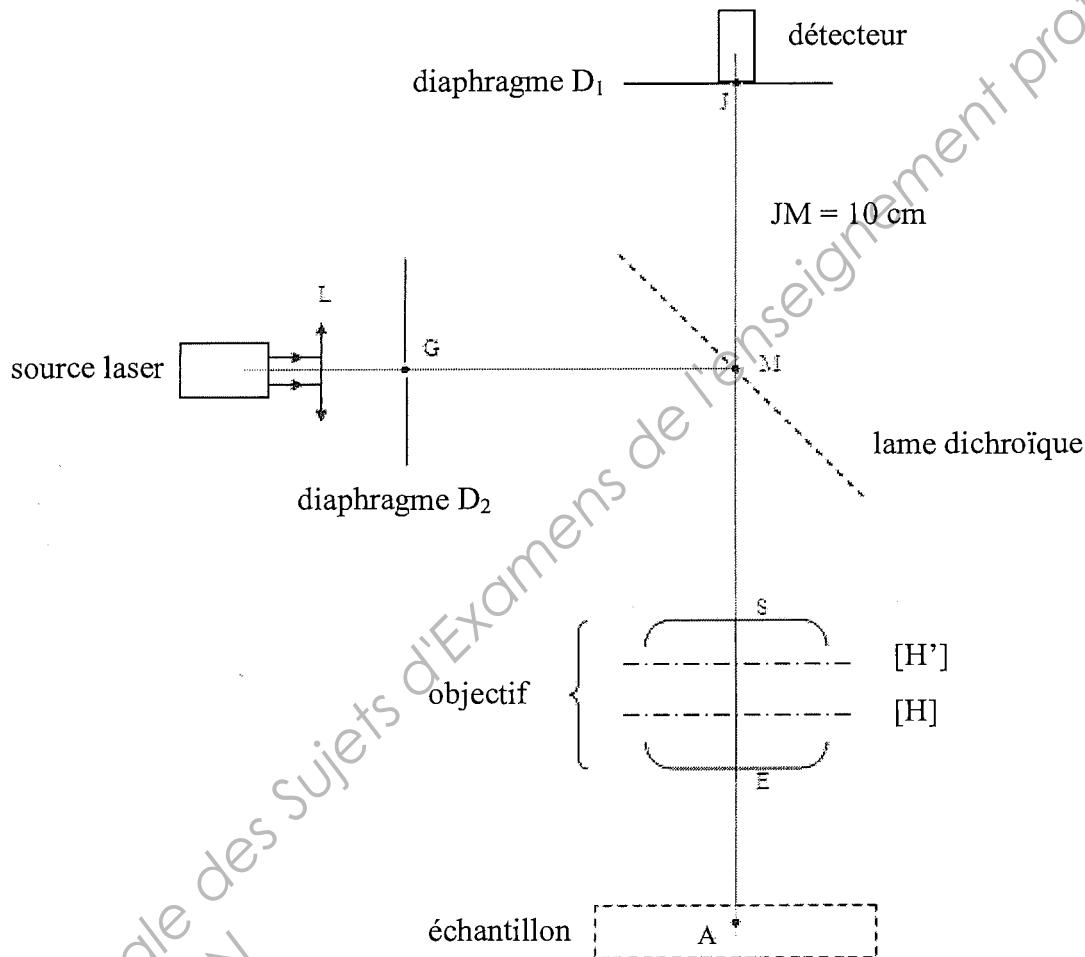


Figure 1 : schéma de principe

On se propose d'étudier les principales caractéristiques de ce type d'instrument.

Le sujet est constitué de six parties indépendantes :

- Partie A : Étude de l'objectif
- Partie B : Analyse du champ objet
- Partie C : Éclairage de l'objet
- Partie D : Amélioration de la résolution
- Partie E : Utilisation d'une substance fluorescente
- Partie F : Utilisation d'un filtre interférentiel

## A. ETUDE DE L'OBJECTIF (2 points)

L'objectif du microscope est assimilable à un système épais convergent, dans l'air.

### Données :

- Distance focale image :  $f' = 5,0 \text{ mm}$
- Distance entre les plans principaux  $\overline{HH'} = 2,0 \text{ mm}$
- Les plans principaux  $[H]$  et  $[H']$  ne sont pas représentés sur le schéma de la figure 1
- Grandissement transversal  $\gamma = - 50$

A.1. Calculer la vergence  $V$  de l'objectif.

A.2. Soit  $A$  un point objet sur l'axe optique.

### Données :

Le point objet  $A$  est placé à  $5,1 \text{ mm}$  du plan  $[H]$  ( $\overline{AH} = 5,1 \text{ mm}$ ).

$\overline{HM} = 15,7 \text{ cm}$  et  $\overline{MJ} = 10,0 \text{ cm}$

A.2.a. Calculer la position du point image  $A'$ , conjugué de  $A$  à travers l'objectif.

A.2.b. Calculer  $\overline{H'J}$ . Quelle position occupe  $A'$  par rapport au diaphragme  $D_1$  (figure 1) ?

## B. ANALYSE DU CHAMP OBJET (5,5 points)

B.1. On considère deux autres points objet :  $A_1$  situé plus près que  $A$  de l'objectif et  $A_2$  situé plus loin.

B.1.a. Sur l'annexe 1 à rendre avec la copie, réalisée sans souci d'échelle ni de proportions, compléter le trajet du rayon lumineux issu du point  $A_1$  à travers l'objectif et déterminer la position de l'image  $A_1'$  du point  $A_1$  à travers l'objectif. Procéder de même avec  $A_2$  pour trouver  $A_2'$ .

B.1.b. En déduire le rôle du diaphragme  $D_1$  dans l'instrument.

Le diamètre de l'ouverture circulaire du diaphragme  $D_1$  est très faible :  $d = 20 \text{ }\mu\text{m}$  par exemple. Ce type de diaphragme est appelé trou d'aiguille ou « pinhole ».

B.2. Calculer le diamètre maximum de l'objet observable (on rappelle que le grandissement transversal de l'objectif est  $\gamma = - 50$ ).

B.3. Pour comparer ce champ objet à celui d'un microscope classique, on considère un microscope, assimilable à deux lentilles minces  $L_1$  et  $L_2$ , dont les caractéristiques sont les suivantes :

### Données :

- $L_1$  (objectif) :  $f_1 = 5,0 \text{ mm}$  ; diamètre  $d_1 = 1,0 \text{ mm}$ .
- $L_2$  (oculaire) :  $f_2 = 50 \text{ mm}$  ; diamètre  $d_2 = 5,0 \text{ mm}$ .
- Distance entre les deux lentilles  $\overline{O_1O_2} = 305 \text{ mm}$ .
- L'objet est à  $5,1 \text{ mm}$  en avant de  $L_1$ .

B.3.a. Où se situe l'image intermédiaire sachant que l'image définitive à la sortie de l'oculaire est à l'infini ?

B.3.b. Quelle lentille joue le rôle de diaphragme d'ouverture ? Quel rôle joue l'autre lentille ?

B.3.c Sur la figure 2 ci-dessous apparaissent des rayons passant par les extrémités des lentilles  $L_1$  et  $L_2$ . Déterminer la valeur du diamètre du champ de pleine lumière dans le plan de l'image intermédiaire.

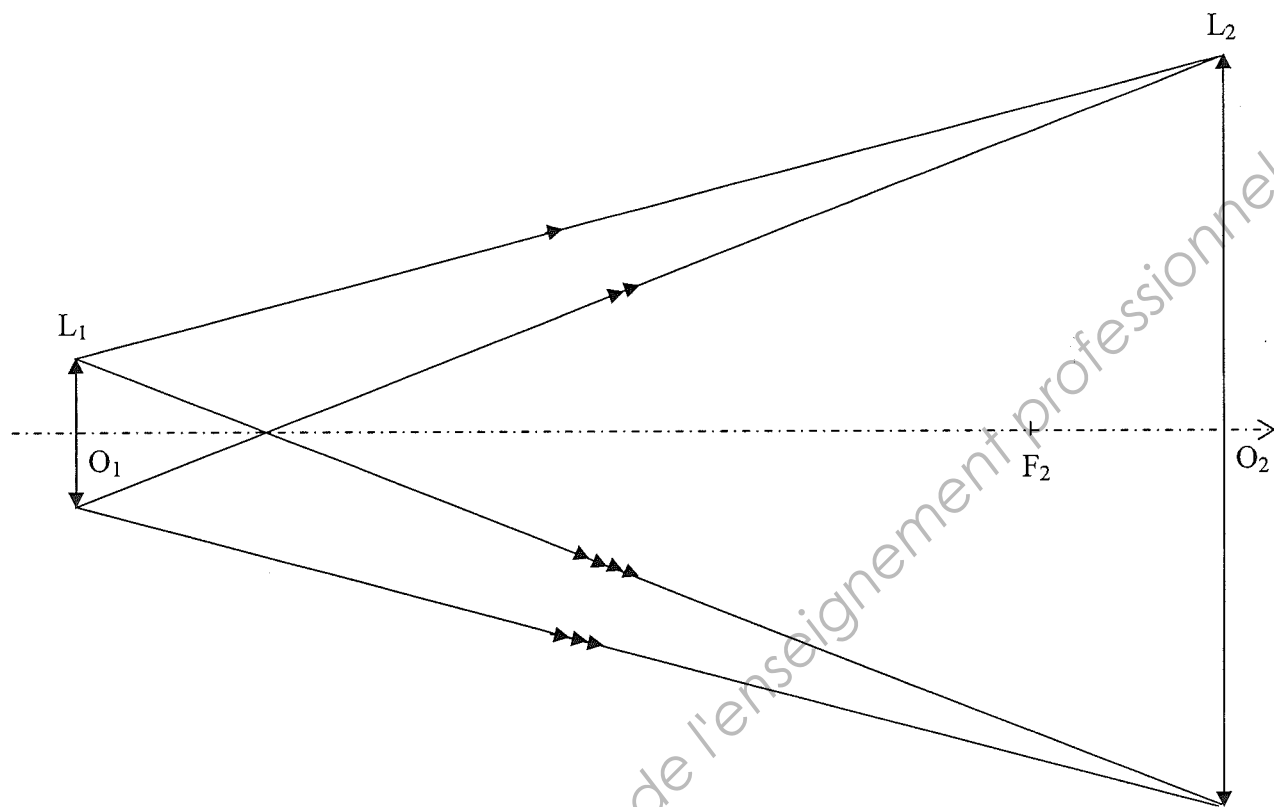


Figure 2

B.3.d. Déterminer la valeur du grandissement de l'objectif. En déduire le diamètre du champ objet pleine lumière.

B.4. Comparer ce diamètre à celui calculé à la question B.2. et conclure.

### C. ECLAIRAGE DE L'OBJET (2 points)

La source laser (figure 1) permet d'éclairer, à travers l'objectif (considéré comme une lentille mince dans cette partie), le point objet A observé. Elle est associée à une lentille L et est rendue quasi ponctuelle grâce au diaphragme  $D_2$ . On considère le faisceau en sortie de la source laser comme cylindrique.

C.1. Quel est le rôle de la lentille L ? Où doit se situer son foyer image ?

C.2. Sur l'annexe 2 à rendre avec la copie, compléter la marche du faisceau laser.

C.3. Quelle doit être la valeur de la distance GM ? Justifier.

## D. AMELIORATION DE LA RESOLUTION (3 points)

### Données :

- La résolution axiale (c'est-à-dire dans la direction de l'axe optique) d'un tel instrument s'exprime par la relation :

$$d_x = \frac{1,4\lambda}{ON^2}$$

$\lambda$  : longueur d'onde de la source laser

ON : ouverture numérique de l'objectif

ON = n.sin u avec n indice de réfraction du milieu objet et u demi-angle d'ouverture

- Indice de réfraction de l'air : n = 1,0

- Diamètre de la pupille d'entrée :  $d_1 = 1,0$  mm

- Distance frontale (entre l'objet et la face d'entrée de l'objectif) : AE = 0,53 mm.

- Indices de réfraction moyens de trois liquides utilisés en microscopie :

eau : 1,33 ; glycérine : 1,47 ; huile de silicone : 1,52

D.1. Donner une définition de la résolution d'un instrument ?

D.2. Calculer l'ouverture numérique de l'objectif dans l'air.

D.3. Pour améliorer la résolution axiale, comment doit-on faire varier l'ouverture numérique ? Justifier.

Par immersion de l'objectif dans un liquide convenablement choisi, on veut obtenir une ouverture numérique voisine de 1.

D.4. Quel liquide convient ?

## E. UTILISATION D'UNE SUBSTANCE FLUORESCENTE (2,5 points)

En biologie, on injecte dans les cellules à observer, une substance fluorescente (fluorophore) qui émet, lorsqu'elle est éclairée par la source laser, une lumière de longueur d'onde bien déterminée et différente de celle de la source excitatrice.

### Données :

- Constante de Planck :  $h = 6,62 \cdot 10^{-34}$  J.s

-  $1 \text{ eV} = 1,6 \cdot 10^{-19}$  J

- Célérité de la lumière dans le vide :  $c = 3,0 \cdot 10^8$  m.s<sup>-1</sup>.

E.1. Le document de la **figure 3** représente les niveaux d'énergie et les transitions mises en jeu lors de la fluorescence du fluorophore 7-AAD.

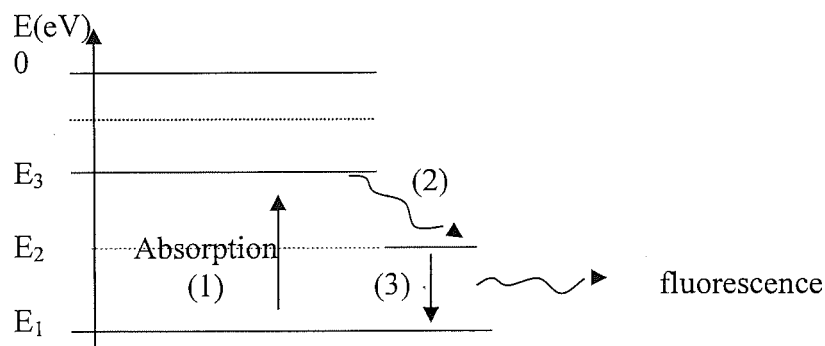


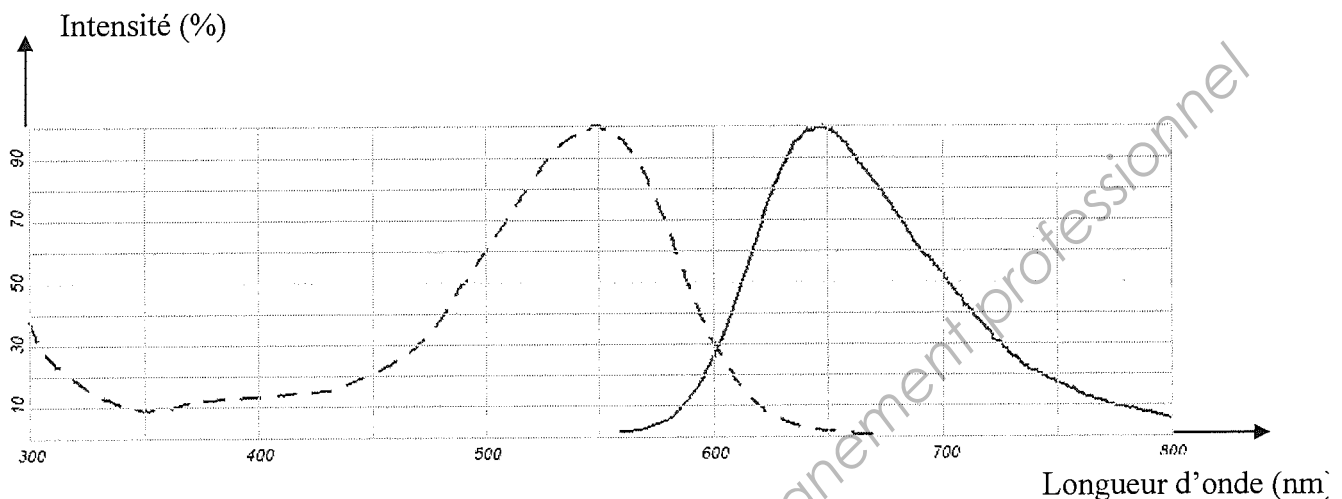
Figure 3 : niveaux d'énergie

E.1.a. Comment appelle-t-on l'état le plus stable noté  $E_1$  ?

E.1.b. Comment appelle-t-on l'état d'énergie 0 eV ?

E.1.c. La transition (2) est non radiative. Expliquer.

E.2. Le document de la **figure 4** donne les spectres d'absorption et d'émission du fluorophore 7-AAD (le spectre d'absorption est en pointillé et le spectre d'émission en trait plein).



**Figure 4 : spectres d'absorption et d'émission**

E.2.a. En utilisant la figure 4, déterminer la longueur d'onde de la source excitatrice à utiliser.

E.2.b. De même, déterminer la longueur d'onde de la lumière émise par les fluorophores.

E.3. En déduire les variations d'énergie  $\Delta E_{(1)} = E_3 - E_1$  et  $\Delta E_{(3)} = E_2 - E_1$  en eV.

## **F. UTILISATION D'UN FILTRE INTERFERENTIEL (5 points)**

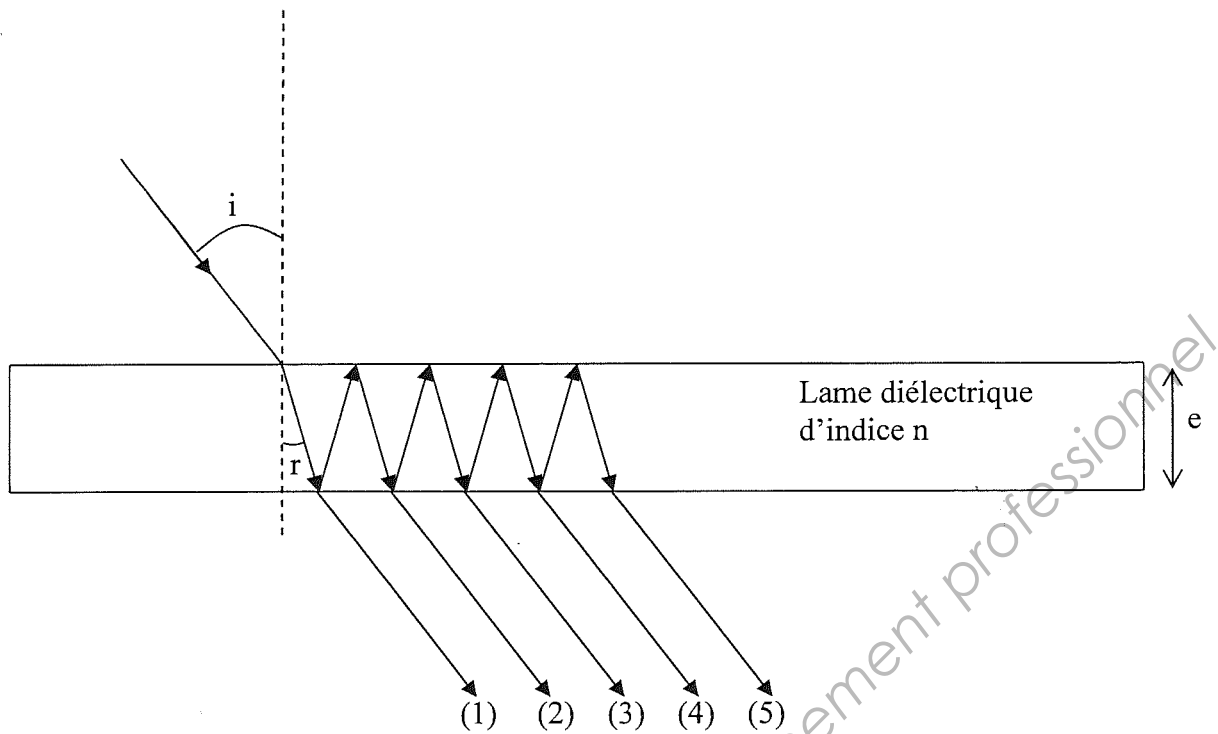
Comme il existe une multitude de fluorophores utilisables et qu'à chacun d'eux correspond une lumière excitatrice, les microscopes confocaux sont équipés de plusieurs sources lumineuses. Afin de sélectionner une longueur d'onde spécifique, une roue de filtres interférentiels peut être placée après la source.

Un filtre interférentiel est une lame diélectrique, à faces parallèles, partiellement réfléchissantes, qui ne transmet qu'une bande spectrale du rayonnement incident.

Le principe d'un filtre interférentiel est présenté sur le document de la **figure 5**.

### **Données :**

- L'incidence des rayons lumineux est considérée comme quasi normale
- Indice de réfraction de la lame diélectrique :  $n = 1,38$
- Longueur d'onde de la lumière incidente :  $\lambda = 550 \text{ nm}$



**Figure 5 : filtre interférentiel**

F.1. Où sont situées les interférences obtenues ? Justifier.

F.2.a. Sachant qu'une réflexion sur un dioptre lame-air engendre une différence de marche supplémentaire de  $\frac{\lambda}{2}$ , donner l'expression de la différence de marche entre deux rayons transmis consécutifs.

F.2.b. Quelle relation doit vérifier la différence de marche entre deux rayons transmis consécutifs si on veut transmettre la radiation de longueur d'onde  $\lambda$  ?

F.2.c Application numérique : calculer les trois premières épaisseurs  $e$  possibles.

F.3. On peut définir, comme pour un spectromètre, un pouvoir de résolution PR.

F.3.a. Calculer la finesse  $F = \frac{\pi\sqrt{R}}{1-R}$  avec pour coefficient de réflexion en intensité des faces de la lame diélectrique  $R = 0,95$ .

F.3.b. Exprimer PR en fonction de  $\lambda$  et  $\Delta\lambda_{1/2}$  (largeur à mi-hauteur du pic d'intensité transmise).

F.3.c. Sachant que  $PR = p.F$  et que l'ordre d'interférence  $p = 1$ , déterminer  $\Delta\lambda_{1/2}$  de ce filtre.

F.3.d. Comment diminuer la valeur de  $\Delta\lambda_{1/2}$  ? Quel est l'intérêt ?



Académie : \_\_\_\_\_ Session : \_\_\_\_\_

Examen ou Concours : \_\_\_\_\_ Série\* : \_\_\_\_\_

Spécialité/option : \_\_\_\_\_ Repère de l'épreuve : \_\_\_\_\_

Épreuve/sous-épreuve : \_\_\_\_\_

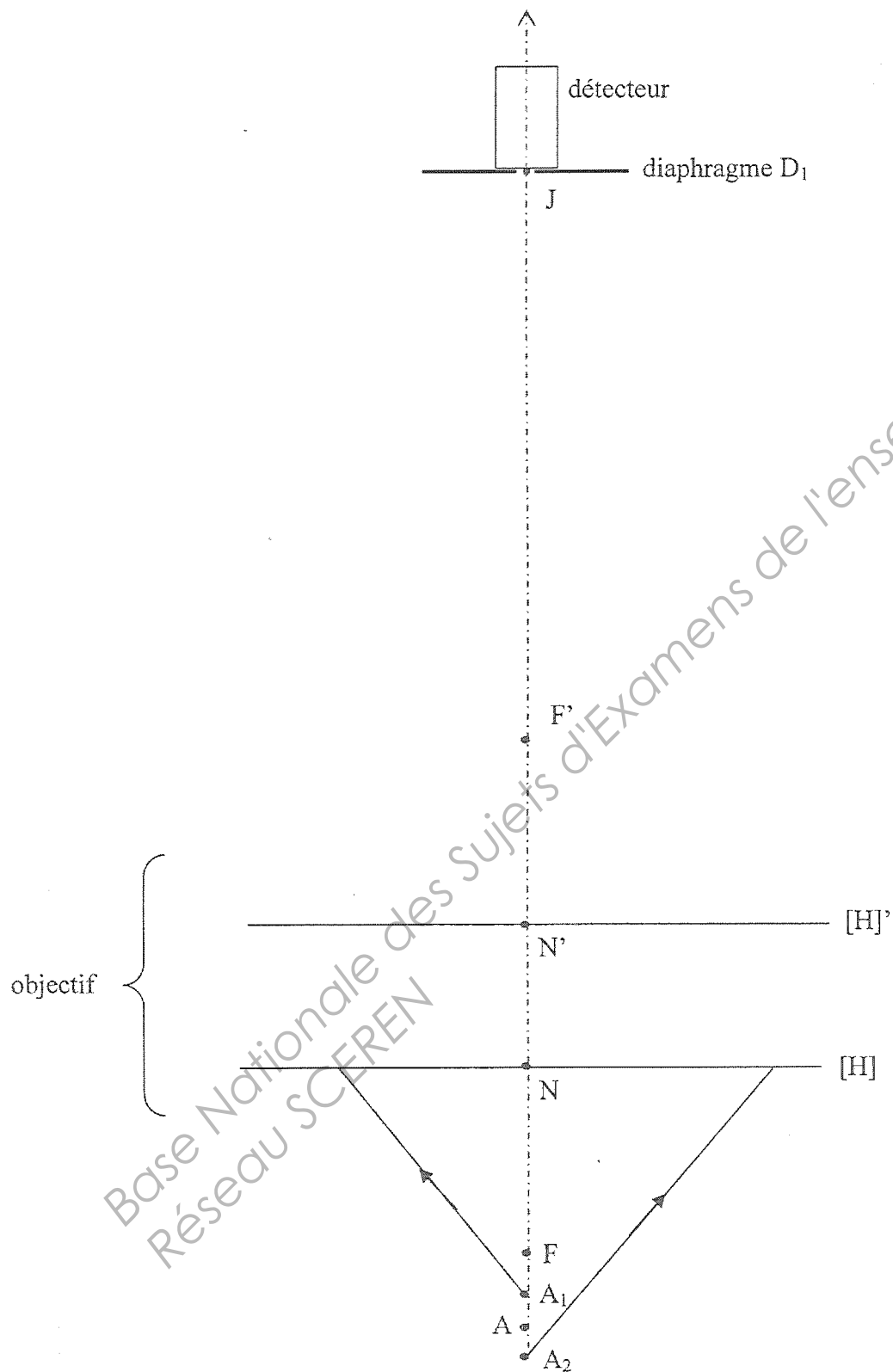
NOM : \_\_\_\_\_

(en majuscules, suivi s'il y a lieu, du nom d'épouse)

Prénoms : \_\_\_\_\_ N° du candidat

Né(e) le : \_\_\_\_\_ (le numéro est celui qui figure sur la convocation ou la liste d'appel)

## ANNEXE 1 A RENDRE AVEC LA COPIE



(échelle quelconque : les proportions réelles ne sont pas respectées)

Académie :

Session :

Examen ou Concours :

Série\* :

Spécialité/option :

Repère de l'épreuve :

Épreuve/sous-épreuve :

NOM :

*(en majuscules, suivi s'il y a lieu, du nom d'épouse)*

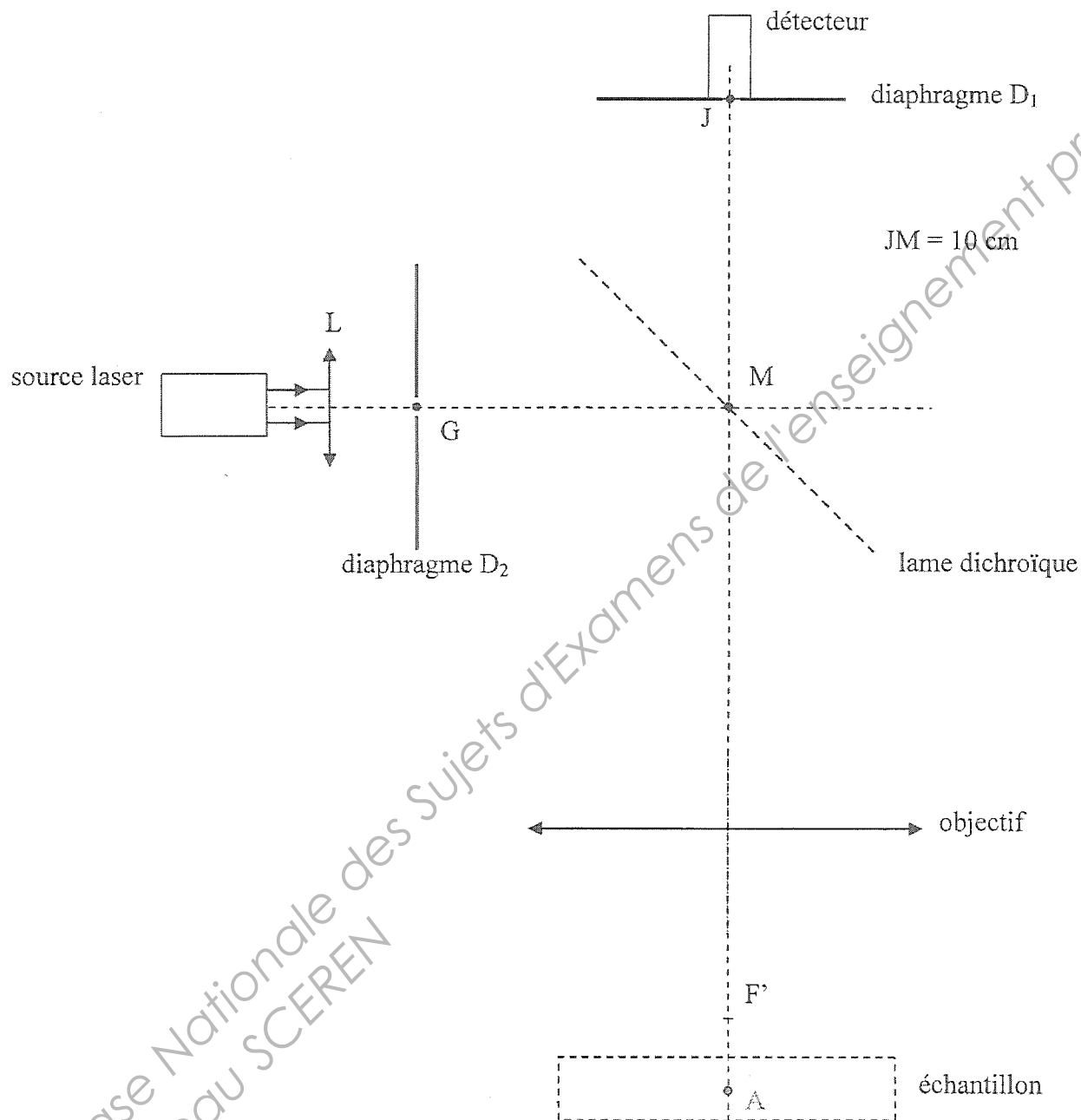
Prénoms :

N° du candidat

*(le numéro est celui qui figure sur la convocation ou la liste d'appel)*

Né(e) le :

## ANNEXE 2 A RENDRE AVEC LA COPIE



(échelle quelconque : les proportions réelles ne sont pas respectées)