



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.**

Campagne 2013

BREVET DE TECHNICIEN SUPÉRIEUR GÉNIE OPTIQUE

option OPTIQUE INSTRUMENTALE

Épreuve de PHYSIQUE APPLIQUÉE

Sous-épreuve U42 : PHYSIQUE

SESSION 2013

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 : 12 pages numérotées de 1/12 à 12/12

Documents à rendre avec la copie :

DOCUMENT REPONSE N° 1 page 9/12
DOCUMENT REPONSE N° 2 page 10/12
DOCUMENT REPONSE N° 3 page 11/12
DOCUMENT REPONSE N° 4 page 12/12

BTS GENIE OPTIQUE OPTION OPTIQUE INSTRUMENTALE	SUJET	SESSION 2013
U 42 : Physique appliquée	Code : GOPHYOI	Page : 1/12

ÉTUDE D'UN BANC DE FILTRAGE SPATIAL

Le filtrage spatial est un procédé permettant notamment de caractériser la diffusion et la fluorescence d'échantillons de matériaux divers.

Le banc de filtrage spatial, représenté sur la figure 1, est constitué :

- d'une source laser YAG ;
- d'un extenseur de faisceau ;
- d'un système optique assurant la conjugaison de l'échantillon avec un capteur ainsi que le filtrage de la lumière issue de l'échantillon.

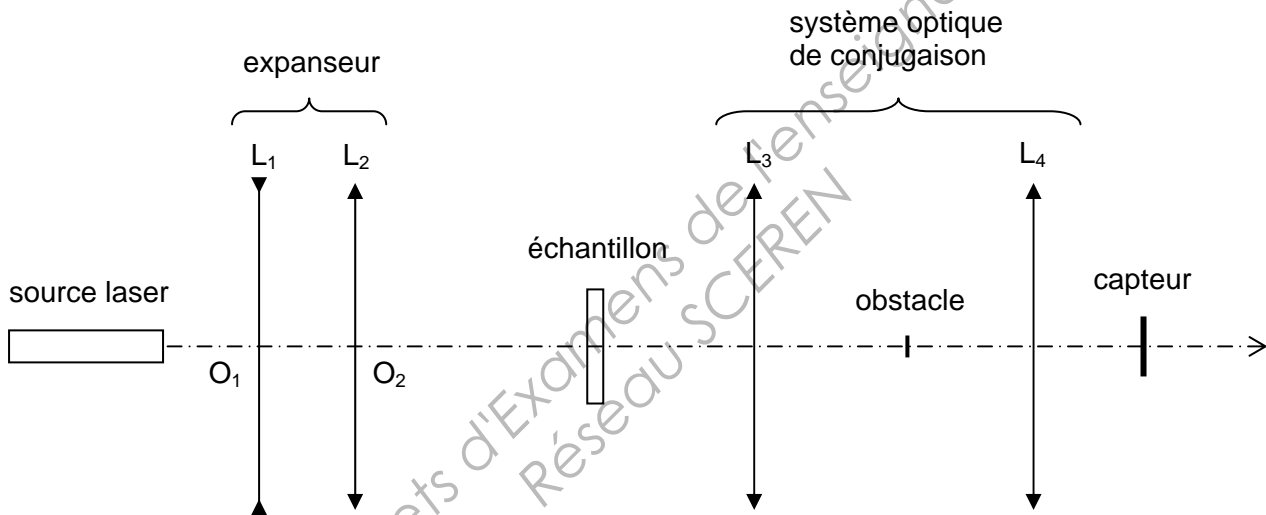


figure 1 : banc de filtrage spatial

L'étude proposée ci-après comporte quatre parties indépendantes les unes des autres :

- la première étudie le rôle de l'extenseur ;
- la deuxième s'intéresse au système optique de conjugaison et de filtrage spatial ;
- la troisième concerne la source laser ;
- la quatrième se consacre au rendement énergétique global du banc de filtrage spatial.

PARTIE A : ÉTUDE DE L'EXPANSEUR (2 points)

L'expandeur est un système afocal constitué de deux lentilles minces : L_1 de centre optique O_1 et de vergence $V_1 = -20 \delta$ et L_2 de centre optique O_2 (figure 1).

A.1. Calculer la valeur de la distance focale image f'_1 de la lentille L_1 .

On souhaite que l'échantillon de diamètre $D = 1,5 \text{ cm}$ soit entièrement éclairé par le faisceau laser. À l'entrée de l'expandeur, le faisceau a un diamètre $D_e = 1,0 \text{ mm}$.

A.2. Calculer la valeur absolue du grandissement g_y de l'expandeur permettant d'augmenter suffisamment le diamètre du faisceau laser.

A.3. En déduire la valeur de la distance focale image f'_2 de la lentille L_2 sachant que celle-ci est convergente.

A.4. **Sur le document réponse n° 1 page 9 à rendre avec la copie**, compléter la marche des rayons lumineux extrêmes du faisceau laser à travers l'expandeur.

PARTIE B : ÉTUDE DU SYSTÈME OPTIQUE DE CONJUGAISON (8 points)

Le système de conjugaison, **présenté sur le document réponse n° 2 page 10**, est constitué de deux lentilles minces L_3 et L_4 .

L'échantillon de rayon AB est placé dans le plan focal $[F_3]$ de la lentille L_3 .

On place un capteur dans le plan de l'image finale de rayon $A'B'$.

Données :

Lentille mince L_3 :

- centre optique O_3
- distance focale image $f'_3 = 40 \text{ cm}$
- diamètre $D_3 = 30 \text{ mm}$

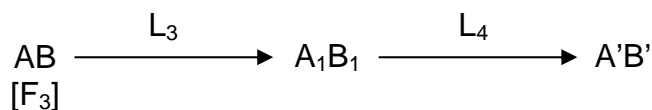
Lentille mince L_4 :

- centre optique O_4
- distance focale image $f'_4 = 20 \text{ cm}$

La distance séparant les lentilles L_3 et L_4 est $\overline{O_3O_4} = 45 \text{ cm}$

Rayon de l'échantillon $AB = 7,5 \text{ mm}$

Les différents conjugués sont précisés sur la chaîne d'images ci-dessous :



B.1. **Sur le document réponse n° 2 page 10 à rendre avec la copie**, compléter la marche du faisceau laser traversant l'échantillon sans déviation à travers le système optique de conjugaison.

B.2.a. Donner sans calcul la position des conjugués successifs A_1B_1 et $A'B'$.

B.2.b. **Sur le document réponse n° 3 page 11 à rendre avec la copie**, placer le point conjugué A' .

B.3. En déduire la valeur de la distance AA' séparant l'échantillon et le capteur.

Le faisceau issu de la source laser YAG est en partie absorbé par l'échantillon. Une partie est réémise par fluorescence dans toutes les directions et l'autre traverse l'échantillon sans être déviée.

B.4.a. **Sur le document réponse n° 3 page 11 à rendre avec la copie**, compléter la marche du faisceau émis par fluorescence, limité par les extrémités de L_3 et issu du point A de l'échantillon, à travers le système optique.

B.4.b. À quel endroit doit-on placer un obstacle jouant le rôle de filtre spatial pour stopper le faisceau laser traversant l'échantillon sans déviation ? (Le filtre doit avoir les dimensions les plus petites possibles afin de stopper le moins possible de la lumière de fluorescence issue de l'échantillon).

B.5. **Sur le document réponse n° 4 page 12 à rendre avec la copie**, compléter la marche du faisceau incident limité par les extrémités de L_3 et issu du point B à travers le système optique.

B.6.a. Déterminer la valeur du diamètre apparent α_1 de l'image intermédiaire A_1B_1 .

B.6.b. En déduire les dimensions minimales du capteur afin qu'il puisse recueillir entièrement l'image finale de l'échantillon.

En utilisant les tracés réalisés sur le document réponse n° 3 :

B.7.a. Quelle lentille joue le rôle de diaphragme d'ouverture de ce système optique ?

B.7.b. Calculer le rayon minimal de la lentille L_4 afin qu'elle ne limite pas le faisceau de pleine lumière.

B.8.a. Déterminer la valeur de la vergence V du système de conjugaison.

B.8.b. En déduire la position des plans principaux $[H]$ et $[H']$ ainsi que des foyers F et F' (on déterminera la valeur des distances algébriques O_3H , O_4H' , O_3F et O_4F').

PARTIE C : ÉTUDE DE LA SOURCE LASER YAG (5,5 points)

YAG est un acronyme anglais qui signifie grenat d'yttrium-aluminium, c'est un cristal utilisé comme milieu amplificateur pour certains lasers. Il est dopé avec du néodyme triplement ionisé qui remplace de manière typique l'yttrium dans la matrice cristalline.

Les lasers YAG sont pompés optiquement au moyen de lampes flash ou de diodes lasers. Ils sont utilisés dans de nombreuses applications car ils émettent dans l'infrarouge avec une longueur d'onde typique de 1064 nanomètres. Les lasers YAG opèrent dans les deux modes pulsé et continu.

Données :

$$1 \text{ eV} = 1,60 \times 10^{-19} \text{ J}$$

$$\text{Constante de Planck } h = 6,63 \times 10^{-34} \text{ J.s}^{-1}$$

$$\text{Célérité de la lumière dans le vide } c = 3,00 \times 10^8 \text{ m.s}^{-1}$$

On considère le diagramme d'énergie de la **figure 2** :

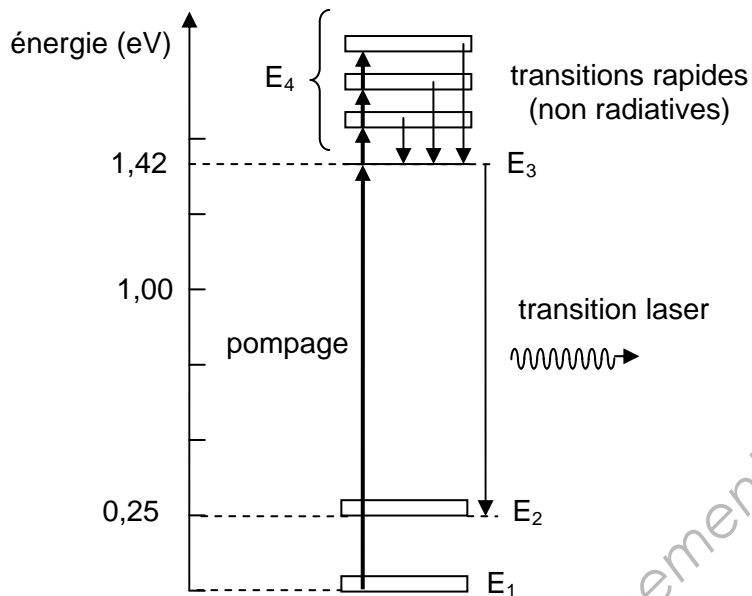


figure 2 : diagramme d'énergie

C.1.a. Déterminer la valeur, en électronvolt (eV), de l'énergie du photon émis lors de la transition laser.

C.1.b. Exprimer cette énergie en joule.

C.2.a. Calculer la valeur de la fréquence ν de la radiation correspondante.

C.2.b. En déduire la longueur d'onde λ_0 de la lumière laser émise dans le vide.

La cavité laser de la source est constituée d'un matériau placé entre deux miroirs séparés par une distance L (**figure 3**).

Pour que la lumière laser puisse être émise, il faut que les ondes se superposent de manière constructive.

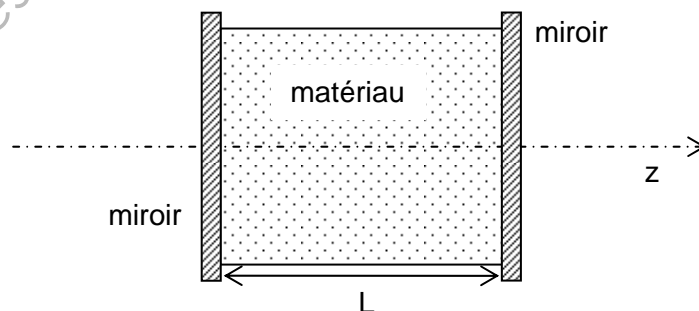


figure 3 : cavité laser

C.3.a. Donner l'expression du déphasage $\Delta\varphi$ entre deux ondes en interférence constructive se déplaçant suivant l'axe de propagation z dans la cavité en fonction d'un entier p .

C.3.b. Rappeler la différence de chemin optique δ correspondante, en fonction de l'indice n du matériau constituant la cavité et de la longueur L séparant les miroirs.

C.3.c. En déduire que $2.n.L = p.\lambda_0$

C.3.d. Donner alors l'expression entre n , L , p , c et v .

On notera $v_p = v$ la fréquence du rayonnement laser correspondant au mode de vibration longitudinal d'ordre p .

C.4.a. Exprimer v_p en fonction n , L , p et c .

C.4.b. Exprimer v_{p+1} la fréquence du rayonnement laser correspondant au mode de vibration longitudinal d'ordre $p+1$ en fonction de n , L , p et c .

Données :

Indice de réfraction du matériau $n = 1,82$

Intervalle spectral libre $\Delta\nu = 412$ MHz

On rappelle que l'intervalle spectral libre $\Delta\nu$ correspond à l'intervalle de fréquence séparant les fréquences de deux modes longitudinaux consécutifs.

C.4.c. En déduire la valeur de la longueur L de la cavité laser.

PARTIE D : ÉTUDE ÉNERGÉTIQUE (4,5 points)

Dans cette partie, on s'intéresse au rendement énergétique du banc dans le cas de l'étude de la fluorescence.

Le système optique est un système centré caractérisé par ses points cardinaux H , H' , F et F' . Soient ϕ et ϕ' respectivement les flux à l'entrée et à la sortie du système optique (**figure 4**).

On appelle τ le coefficient de transmission du système optique : $\tau = \frac{\phi'}{\phi}$.

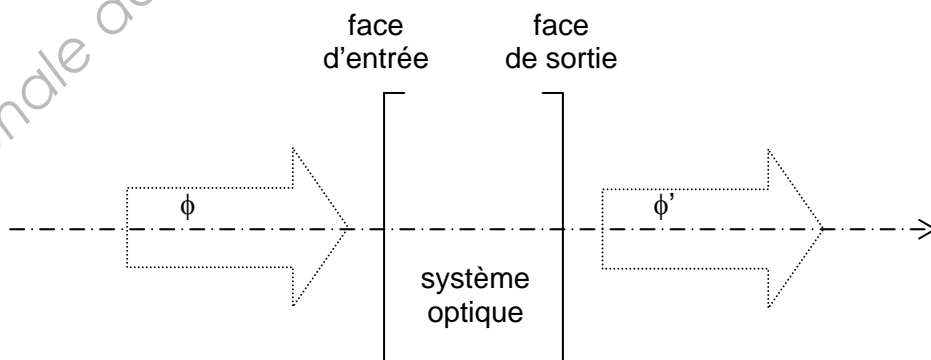
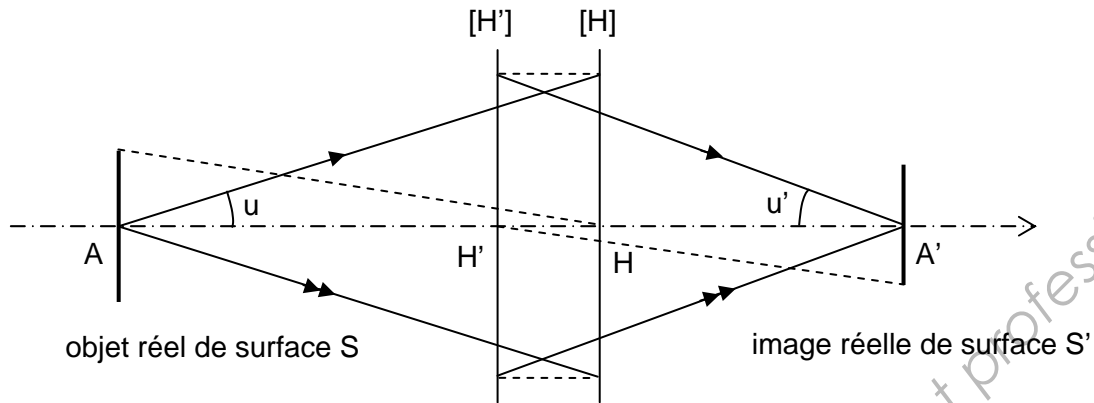


figure 4 : le système optique

Le système optique (**figure 5**) donne d'un objet réel centré au point A sur son axe optique une image réelle centrée en A'.
L'échantillon qui joue le rôle de l'objet réel est placé à 160 cm du plan principal objet [H].



**figure 5 : schéma de principe
(proportions non respectées)**

Données :

Vergence du système optique : $V = 1,88 \delta$

L'objet a la forme d'un disque de surface S de rayon $R = 7,5 \text{ mm}$ et de luminance constante L.

On rappelle la relation reliant le flux à la luminance $\phi = \pi \cdot L \cdot S \cdot \sin^2 u$. On prendra $u = 0,075 \text{ rad}$.

L'image a la forme d'un disque de surface S' (de rayon R').

On mesure l'éclairement E' constant dans le plan de l'image : $E' = \frac{\phi'}{S'} = 4,0 \text{ W} \cdot \text{m}^{-2}$

Coefficient τ de transmission du système optique : $\tau = \frac{\phi'}{\phi} = 0,849$

L'échantillon est éclairé par un faisceau laser de longueur d'onde $\lambda_1 = 808 \text{ nm}$.

On cherche à déterminer la luminance L de l'objet.

D.1.a. Calculer la position de l'image par rapport au plan principal image [H'] (on déterminera la valeur de la distance algébrique $\overline{H'A'}$).

D.1.b. En déduire la valeur du rayon R' puis celle de la surface S' de l'image.

D.1.c. En déduire la valeur du flux ϕ' sortant du système puis celle du flux ϕ entrant.

D.1.d. En déduire la valeur de la luminance L de l'objet.

Données :

On suppose que le flux total ϕ_t réémis sous forme de fluorescence (à la longueur d'onde $\lambda_2 = 1064 \text{ nm}$) est uniforme dans tout l'espace, ce qui correspond à un angle solide $\Omega = 4\pi$.

On rappelle dans ce cas la formule vérifiée par la luminance $L = \frac{\phi_t}{\Omega \cdot S_e}$ avec S_e la surface émissive

de l'échantillon (on considère que l'échantillon est un cylindre de révolution dont la longueur est négligeable devant le rayon).

On cherche à déterminer le flux ϕ_a absorbé par l'échantillon. On considère une luminance de l'échantillon $L = 64 \text{ W}\cdot\text{sr}^{-1}\cdot\text{m}^{-2}$.

D.2.a. Déterminer la valeur du flux total ϕ_t émis par l'échantillon par fluorescence.

D.2.b. En supposant que le flux ϕ_a absorbé par l'échantillon est réémis intégralement sous forme de fluorescence, déterminer la valeur du flux ϕ_a absorbé dans l'échantillon.

Données :

Puissance lumineuse émise par le laser : ϕ_1

Coefficient de transmission de l'expandeur laser : $\tau = 0,849$

Flux à l'entrée de l'échantillon : ϕ_2

Flux sortant après absorption à la longueur d'onde $\lambda_2 = 808 \text{ nm}$: ϕ_3

La loi de Beer $\phi_3 = \phi_2 \cdot \exp[-\alpha \cdot l]$ avec :

- l longueur de l'échantillon traversée par le faisceau lumineux, $l = 1,0 \text{ mm}$

- α coefficient d'absorption du matériau constituant l'échantillon. α dépend de la longueur d'onde (**figure 6**).

coefficient
d'absorption
(en cm^{-1})

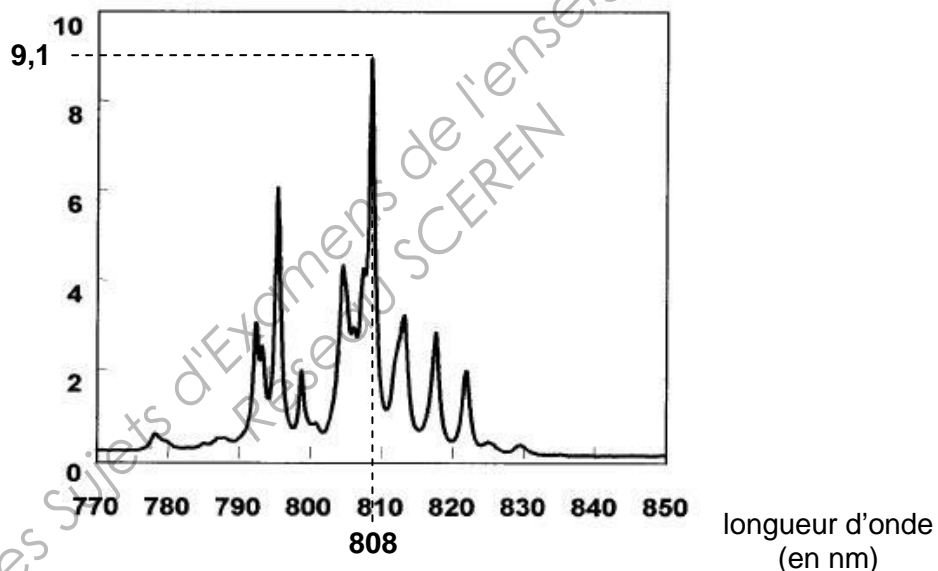


figure 6 : coefficient d'absorption

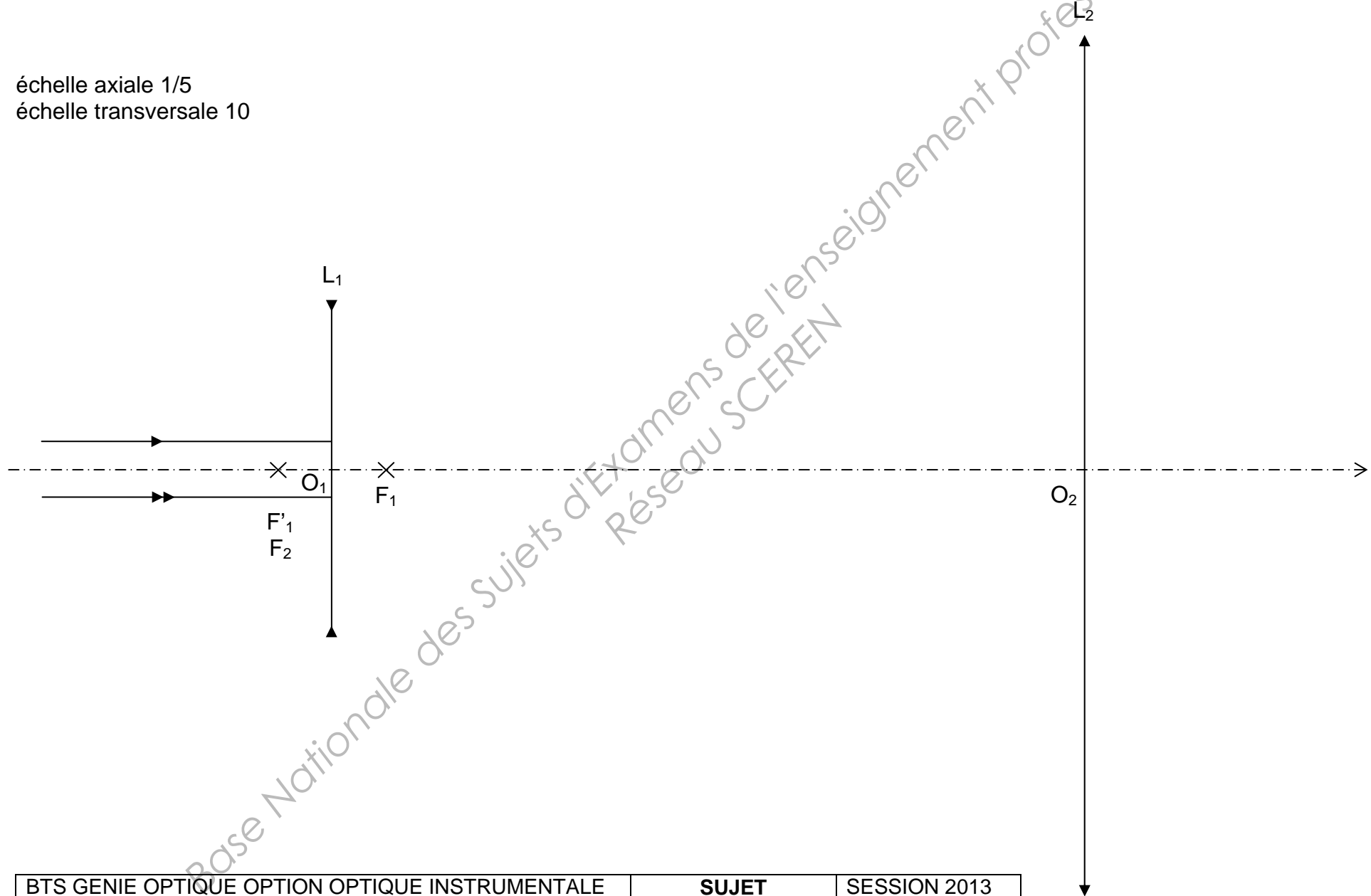
On cherche à déterminer la puissance lumineuse ϕ_1 émise par le laser.

D.3.a. Exprimer ϕ_2 en fonction de ϕ_a , puis calculer la valeur de ϕ_2 .

D.3.b. En déduire la valeur de ϕ_1 .

DOCUMENT RÉPONSE N° 1 À RENDRE AVEC LA COPIE

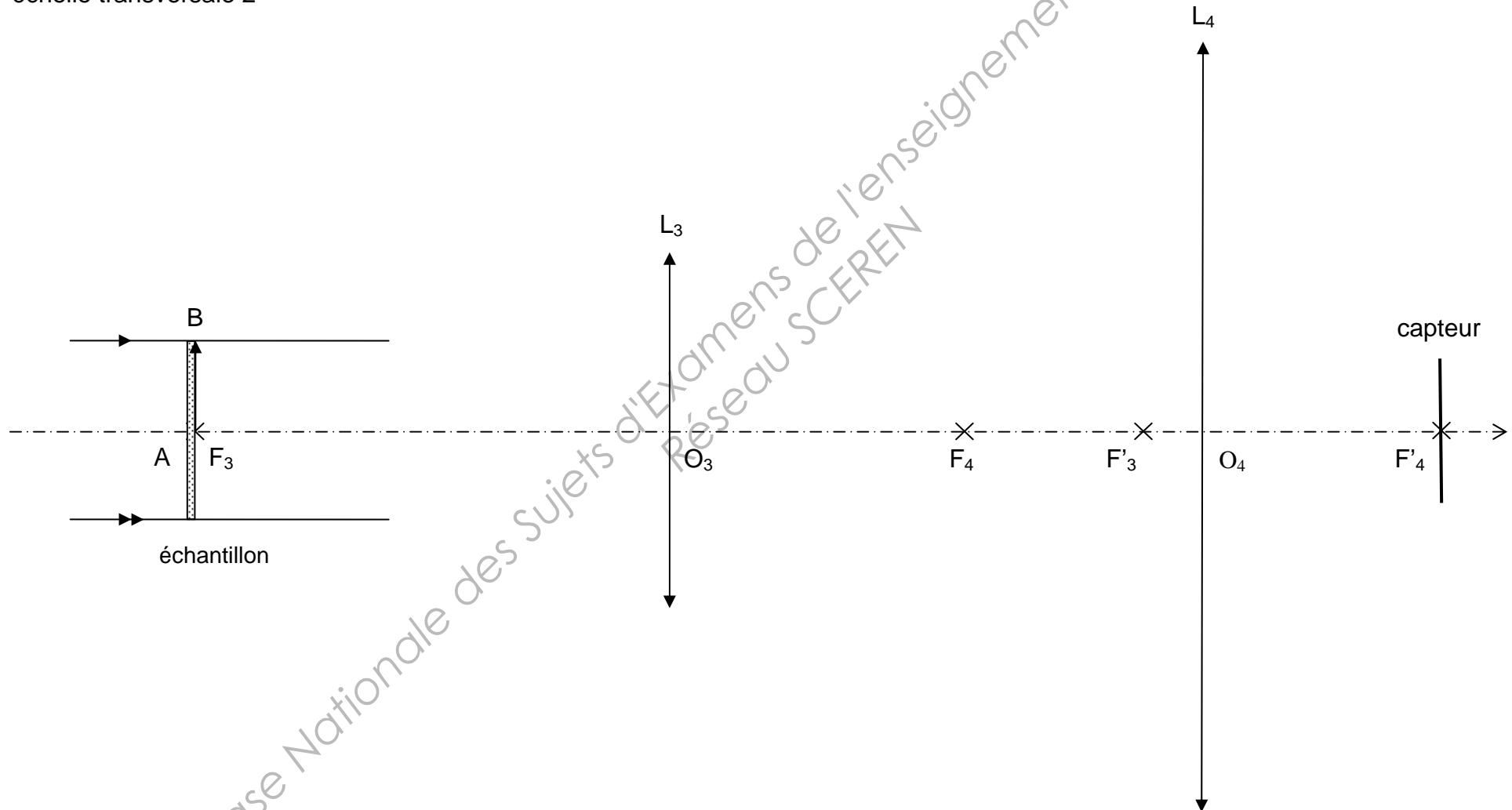
échelle axiale 1/5
échelle transversale 10



BTS GENIE OPTIQUE OPTION OPTIQUE INSTRUMENTALE	SUJET	SESSION 2013
U 42 : Physique appliquée	Code : GOPHYOI	Page : 9/12

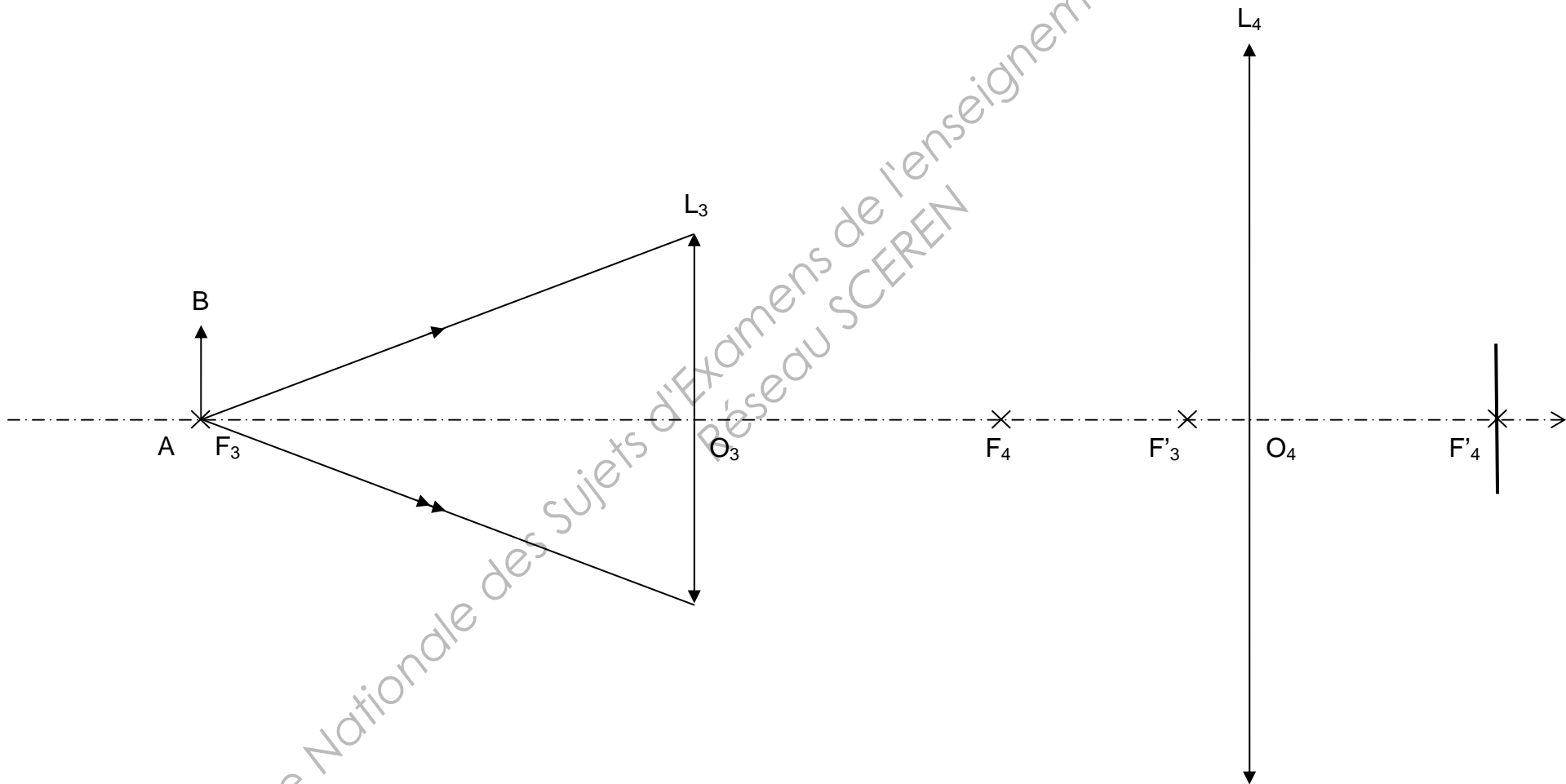
DOCUMENT RÉPONSE N° 2 À RENDRE AVEC LA COPIE

échelle axiale 1/5
échelle transversale 2



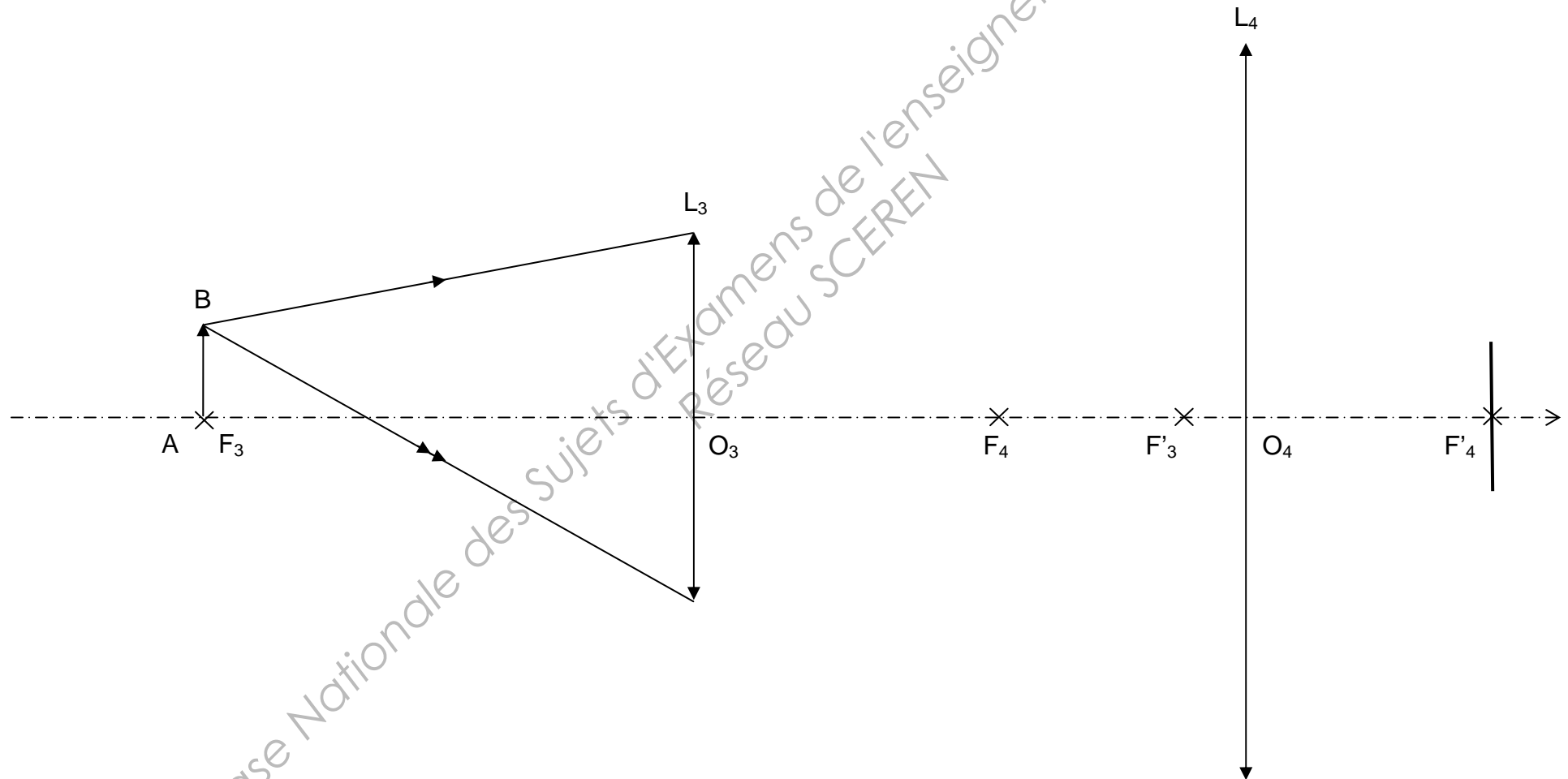
DOCUMENT RÉPONSE N° 3 À RENDRE AVEC LA COPIE

échelle axiale 1/5
échelle transversale 2



DOCUMENT RÉPONSE N° 4 À RENDRE AVEC LA COPIE

échelle axiale 1/5
échelle transversale 2



BTS GENIE OPTIQUE OPTION OPTIQUE INSTRUMENTALE	SUJET	SESSION 2013
U 42 : Physique appliquée	Code : GOPHYOI	Page : 12/12