



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

**Ce document a été mis en ligne par le Canopé de l'académie de Montpellier  
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 GÉNIE OPTIQUE

Option PHOTONIQUE  
Épreuve de PHYSIQUE APPLIQUÉE

Sous-épreuve U42 : PHYSIQUE  
SESSION 2016

**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 pages numérotées de 1 à 10*

**Documents à rendre avec la copie : annexes pages 9 et 10**

BTS GÉNIE OPTIQUE OPTION PHOTONIQUE	<b>SUJET</b>	SESSION 2016
U 42 : Physique appliquée	Code : GOPHYPH	Page 1

## LE LIDAR ATMOSPHERIQUE

Le lidar acronyme pour **L**ight **D**etection and **R**anging est une méthode de télédétection qui utilise un laser comme source émettrice pour effectuer des mesures sur l'atmosphère, la topographie des sols, la végétation...

Le lidar atmosphérique, en particulier, est l'instrument de choix pour la surveillance de l'air. Il fournit, en continu, des données sur la distribution verticale des aérosols et des couches nuageuses élevées et permet de mesurer à distance la densité de certains composants de la moyenne et de la haute atmosphère. On donne ci-contre, à titre d'information, une évolution de la température de l'atmosphère avec l'altitude.

Le laser utilisé dans le lidar émet des impulsions lumineuses très brèves et très puissantes, dont la longueur d'onde dépend de l'utilisation. Ainsi, le lidar atmosphérique émet dans un domaine de transparence de l'atmosphère soit, typiquement, entre 0,3 et 10  $\mu\text{m}$ .

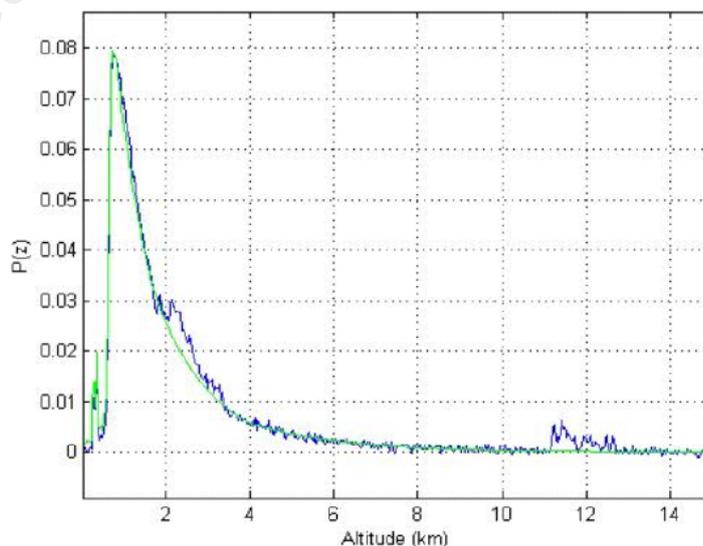
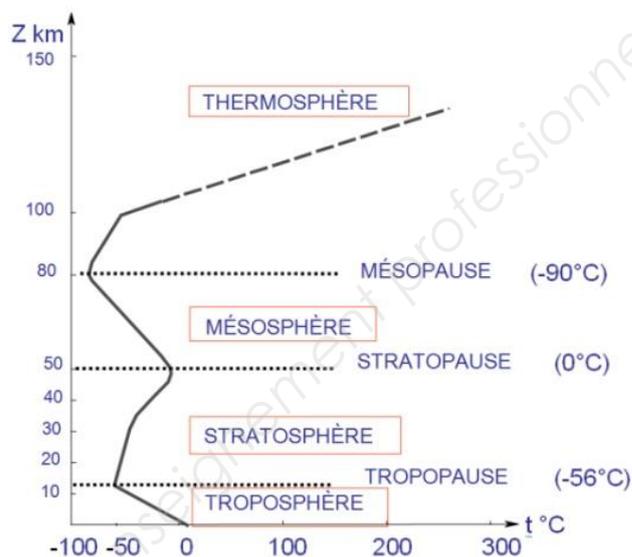
Les particules (molécules, aérosols, poussières) présentes dans l'atmosphère, le long de la ligne de visée, diffusent le rayonnement dont une partie est renvoyée dans la même direction mais dans un sens opposé à l'impulsion laser initiale : elle est rétrodiffusée. Ce signal rétrodiffusé s'étale dans le temps, proportionnellement à la distance des différentes couches traversées. Il est collecté par l'optique d'un télescope puis transformé par le système de détection optoélectronique en un signal électrique.

Le profil de la figure ci-contre représente la variation de la puissance optique rétrodiffusée en fonction de l'altitude sondée. Ici le signal de rétrodiffusion est obtenu jusqu'à une altitude de 15 km. On reconnaît :

- entre 11 km et 13 km environ la rétrodiffusion due à un nuage de glace (cirrus) ;
- entre 1,8 et 3,8 km la rétrodiffusion des aérosols de la basse atmosphère.

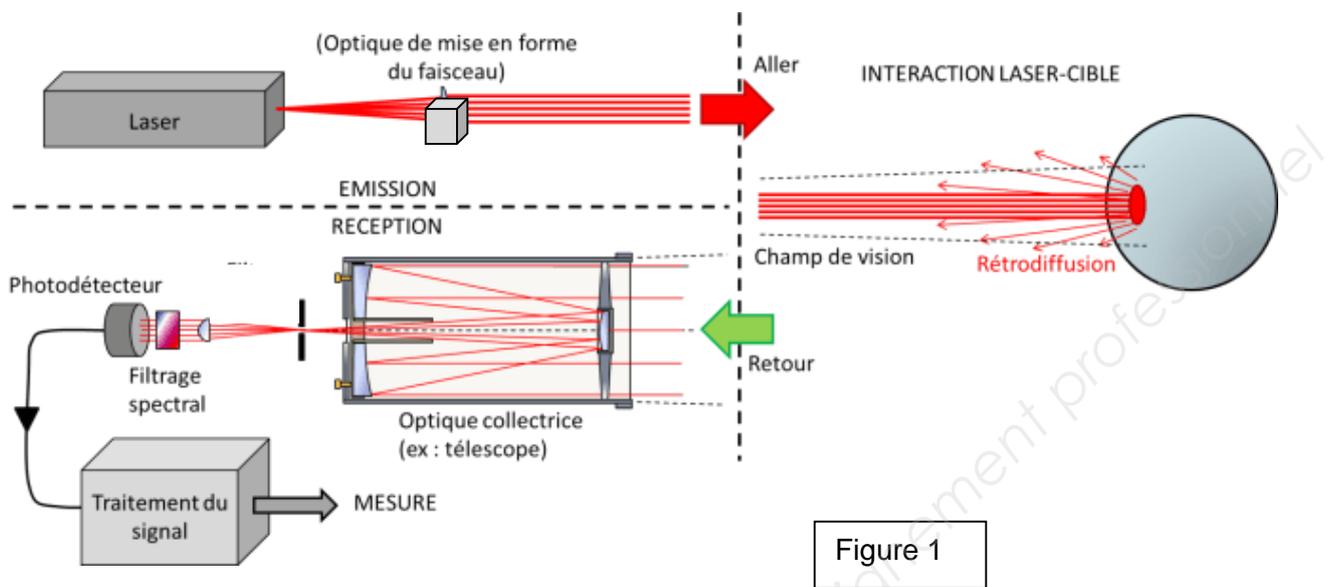
Si on le compare au radar, le lidar offre une directivité et une résolution angulaire bien adaptées à la cartographie 3D de structures telles que des panaches, des tourbillons ou des nuages.

Par rapport aux caméras infrarouges, il offre, pour la détection de gaz, l'accès à une information sur la distance, et un fonctionnement indépendant des conditions de luminosité ou de température de la ciblée observée.



BTS GÉNIE OPTIQUE OPTION PHOTONIQUE	SUJET	SESSION 2016
U 42 : Physique appliquée	Code : GOPHYPH	Page 2

Le schéma ci-dessous (Figure 1) résume le principe général de fonctionnement d'un lidar atmosphérique.



Le sujet comporte quatre parties indépendantes concernant l'étude d'un lidar atmosphérique, destiné à atteindre une cible située dans la troposphère, entre 0 et 10 km, ou dans la stratosphère, entre 10 et 50 km.

## Partie A : choix de la source laser (7 points)

La puissance rétrodiffusée dépend de la distance  $r$  entre le lidar et la cible dans l'atmosphère. Il suffit alors de mesurer la durée d'un aller-retour noté  $\Delta\tau$  de l'impulsion laser pour en déduire la distance notée  $r$  que l'on cherche à mesurer (Figure 2).

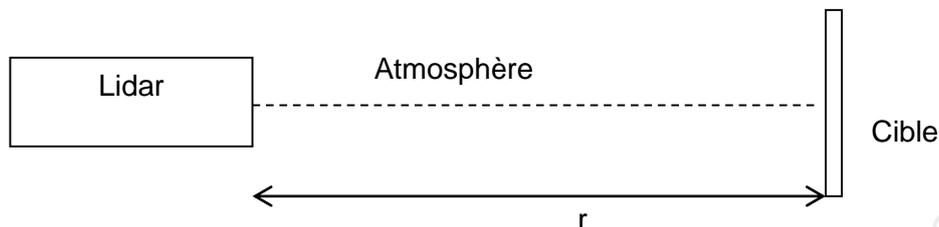


Figure 2

On dispose des lasers commerciaux suivants, tous de type Nd :YAG, de longueur d'onde  $\lambda=1064$  nm et de mode TEM00 :

Type de pompage	Énergie d'une impulsion (mJ)	Durée d'une impulsion (ns)	Fréquence de répétition de des impulsions (Hz)
flash	400	5,0	20
Diode laser 1	200	10	100
Diode laser 2	1,0 à 20	1,0 à 100	$20 \cdot 10^3$

### 1. Caractéristiques des impulsions laser

- 1.1 On suppose la célérité de la lumière dans l'atmosphère voisine de  $c = 3,0 \cdot 10^8$  m.s<sup>-1</sup>. Donner en fonction de  $c$  et  $\Delta\tau$ , l'expression de  $r$ .
- 1.2 En déduire la valeur de  $\Delta\tau$  pour  $r = 10$  km.
- 1.3 Déterminer la fréquence de répétition maximum  $\nu_{\max}$  des impulsions laser permettant de recevoir correctement le signal de retour. Justifier votre réponse.
- 1.4 On souhaite également que la puissance crête de l'impulsion émise soit la plus grande possible, de façon à ce que le signal rétrodiffusé ait une intensité suffisante pour être détecté. En tenant compte de la fréquence de répétition et de la puissance crête des impulsions émises, quel est le meilleur choix possible parmi les lasers proposés ?

### 2. Choix de la longueur d'onde

- 2.1 À quel domaine appartient la longueur d'onde  $\lambda = 1064$  nm?
- 2.2 La rétrodiffusion sur les petites particules est d'autant plus importante que la longueur d'onde de la radiation laser est faible. Pour doubler ou tripler la fréquence des radiations émises, on associe au laser Nd :YAG de longueur d'onde  $\lambda = 1064$  nm un cristal non linéaire. Calculer les longueurs d'onde respectives d'un laser Nd :YAG doublé ou triplé en fréquence et préciser les domaines auxquelles elles appartiennent.

### 3. Caractéristiques géométriques du faisceau

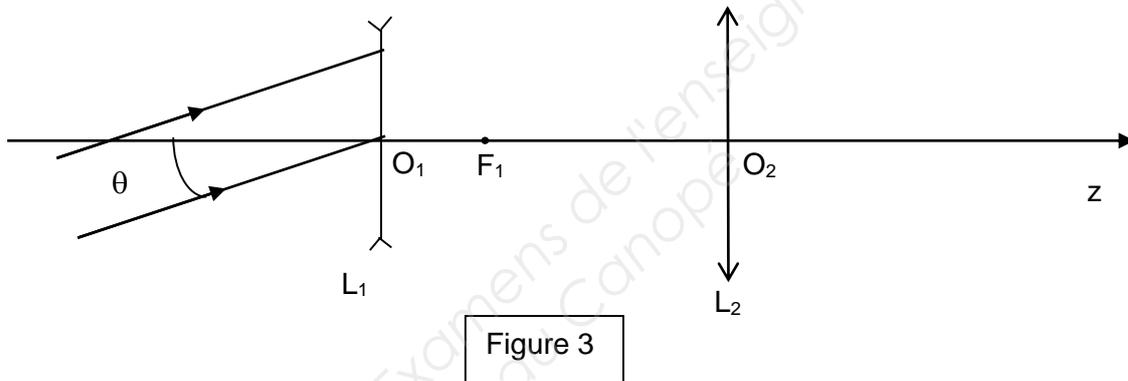
On rappelle les relations des faisceaux gaussiens :

- Rayon caractéristique du faisceau :  $w(z) = w_0 \left[ 1 + \left( \frac{z}{z_R} \right)^2 \right]^{\frac{1}{2}}$  avec  $z_R = \frac{\pi w_0^2}{\lambda}$ , distance de Rayleigh et  $w_0$ , rayon du waist.
- Demi-divergence du faisceau :  $\theta = \frac{\lambda}{\pi w_0}$ .

On donne  $w_0 = 0,5 \text{ mm}$  et  $\lambda = 1064 \text{ nm}$ .

3.1 Calculer la demi-divergence  $\theta$  du faisceau laser.

3.2 Pour éviter le recouvrement avec le faisceau rétrodiffusé par la cible, on limite à  $\theta' = 0,1 \text{ mrad}$  la demi-divergence du faisceau laser émis avec un système optique afocal associant une lentille divergente et une lentille convergente (Figure 3).



On étudie le système afocal pour un faisceau parallèle incident faisant un angle  $\theta$  avec l'axe  $z$ , axe optique commun aux deux lentilles. Seul un foyer de la lentille  $L_1$  est représenté sur la Fig.3.

- 3.2.1 Sur le schéma reproduit à la fin du sujet en annexe 1, placer les foyers objet et image des deux lentilles  $L_1$  et  $L_2$  ( $F_1$  est déjà placé).
- 3.2.2 Tracer l'évolution du faisceau à travers le système afocal. On justifiera le tracé par les traits de construction.
- 3.2.3 On note respectivement  $f'_1$ ,  $f'_2$  les distances focales images des lentilles  $L_1$  et  $L_2$  et  $\theta'$  l'angle de demi-divergence du faisceau en sortie du système afocal. Écrire la relation entre  $\theta$ ,  $\theta'$  et les valeurs absolues des distances focales  $f'_1$  et  $f'_2$  (la démonstration n'est pas demandée).
- 3.2.4 En déduire la valeur numérique du rapport  $\left| \frac{f'_1}{f'_2} \right|$  pour que  $\theta' = 0,1 \text{ mrad}$ .
- 3.2.5 Réduire la divergence du faisceau entraîne son élargissement. On rappelle que le faisceau incident a pour rayon  $w_0 = 0,5 \text{ mm}$  au niveau de la lentille  $L_1$ . En faisant l'approximation de l'optique géométrique, déterminer le rayon du faisceau à la sortie du système afocal ?

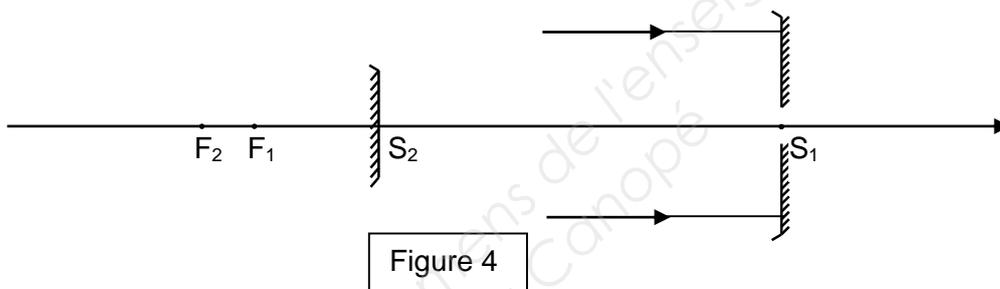
- 3.2.6 On suppose que le waist du faisceau émergent du système afocal se trouve sur la lentille  $L_2$ . Quel sera le rayon du faisceau à 10 km de la sortie du système afocal, en supposant que le faisceau est toujours gaussien ? Que pouvez-vous en conclure sur la résolution du LIDAR ?

### **Partie B : étude du télescope (4 points)**

Le télescope de type Cassegrain, utilisé pour récupérer la lumière rétrodiffusée, est constitué de deux miroirs sphériques de sommets respectifs  $S_1$ ,  $S_2$  et de foyers  $F_1$ ,  $F_2$  (voir Figure 4 et annexe 3).

Valeurs absolues des rayons de courbure des miroirs :

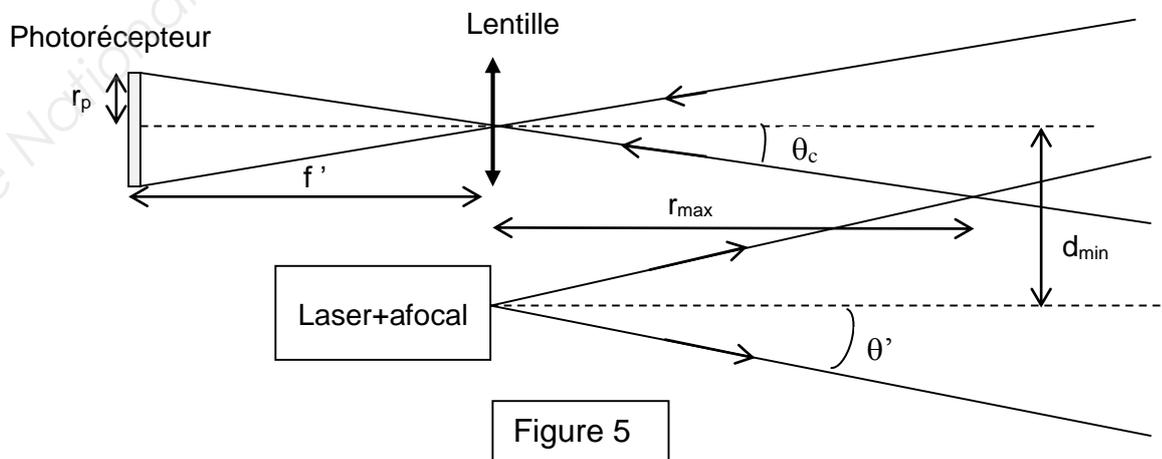
- miroir primaire concave : 300 mm
  - miroir secondaire convexe : 100 mm.
1. Définir et calculer les distances focales de ces deux miroirs.
  2. Compléter, sur le schéma joint en annexe 3, la marche d'un faisceau lumineux parallèle à l'axe optique. On fera apparaître tous les traits de construction utiles.
  3. A partir de la figure construite et en respectant les proportions, évaluer l'encombrement du télescope.
  4. Déterminer la position du foyer image  $F'$  de l'ensemble. Commenter cette position.



### **Partie C : recouvrement des faisceaux incident et rétrodiffusé (3 points)**

On souhaite connaître la distance minimale  $d_{\min}$ , séparant les axes optiques colinéaires des systèmes d'émission et de réception, permettant un non recouvrement des faisceaux incident et rétrodiffusé.

Le champ de l'optique de réception est limité par la taille du photorécepteur. Une lentille permet de former l'image de la cible visée sur la surface du photorécepteur. Celui-ci est placé dans son plan focal image.



On supposera tous les angles petits.

1. Établir le demi-angle de champ  $\theta_c$  en fonction des données de la figure 5 ci-dessus. On supposera tous les angles petits.
2. On souhaite que les faisceaux incident et rétrodiffusé n'aient pas de zone de recouvrement tant que la distance maximum  $r_{\max}$  d'exploration n'est pas atteinte. Exprimer la distance  $d_{\min}$  en fonction de  $r_{\max}$ ,  $\theta_c$  et  $\theta'$ .
3. On donne  $\theta_c = 0,4$  mrad et  $\theta' = 0,1$  mrad. Calculer  $d_{\min}$  pour un lidar qui examine la troposphère, entre 0 et 10 km, puis pour un lidar qui analyse la stratosphère, entre 10 et 50 km.

### **Partie D : filtrage spectral du signal rétrodiffusé (6 points)**

Le signal rétrodiffusé traverse un filtre interférentiel qui sélectionne certaines radiations. La largeur spectrale du filtre est choisie pour détecter tout le signal utile. En aucun cas un lidar ne doit pouvoir observer directement la lumière solaire (ou lunaire), pour ne pas endommager le détecteur ; deux filtres sont utilisés pour sélectionner les radiations qui arrivent au niveau du détecteur :

- un premier filtre qui sélectionne les radiations comprises dans l'intervalle de longueurs d'onde 510 nm et 550 nm ;
- un second filtre, placé en aval du précédent, de type Fabry-Perot qui fait l'objet de cette étude.

Un filtre interférentiel Fabry-Pérot est assimilé à une lame transparente d'épaisseur optique  $n \times e$  et de coefficient de réflexion en intensité  $R$ . Le filtre est utilisé en incidence normale ; on suppose par ailleurs que son coefficient d'absorption est nul.

Si  $I_0$  est l'intensité de la lumière incidente de longueur d'onde  $\lambda$ , l'expression de l'intensité lumineuse  $I$  transmise par le filtre est donnée par la relation :

$$I(\varphi) = \frac{I_0}{1 + m(R)\sin^2\left(\frac{\varphi}{2}\right)} \text{ avec } m(R) = \frac{4R}{(1-R)^2} \text{ et } \varphi = \frac{4\pi n \times e}{\lambda}$$

Caractéristiques du filtre :  $n \times e = 5,59 \mu\text{m}$  et  $R = 0,939$ .

1. Généralités sur l'interféromètre Fabry-Pérot utilisé en filtre
  - 1.1 La courbe fournie en annexe 2 représente l'allure de la courbe  $\frac{I}{I_0}$  en fonction de  $\lambda$ . Indiquer clairement sur cette courbe l'intervalle spectral libre (ISL) en longueur d'onde  $\Delta\lambda$ .
  - 1.2 On appelle  $\lambda_p$  la longueur d'onde correspondant à un maximum de la courbe. En justifiant votre réponse, donner la relation entre  $\lambda_p$ ,  $n$ ,  $e$  et un entier naturel  $p$ .

On peut montrer que  $\Delta\lambda$  est approximativement égal à  $\frac{\lambda^2}{2ne}$ .

- 1.3 On définit la finesse du Fabry-Pérot par  $F = \frac{\Delta\lambda}{\delta\lambda}$ , où  $\delta\lambda$  est la largeur à mi-hauteur d'un pic de la courbe  $\frac{I}{I_0}$  en fonction de  $\lambda$ . Indiquer clairement  $\delta\lambda$  sur la courbe de l'annexe 2.

BTS GÉNIE OPTIQUE OPTION PHOTONIQUE	SUJET	SESSION 2016
U 42 : Physique appliquée	Code : GOPHYPH	Page 7

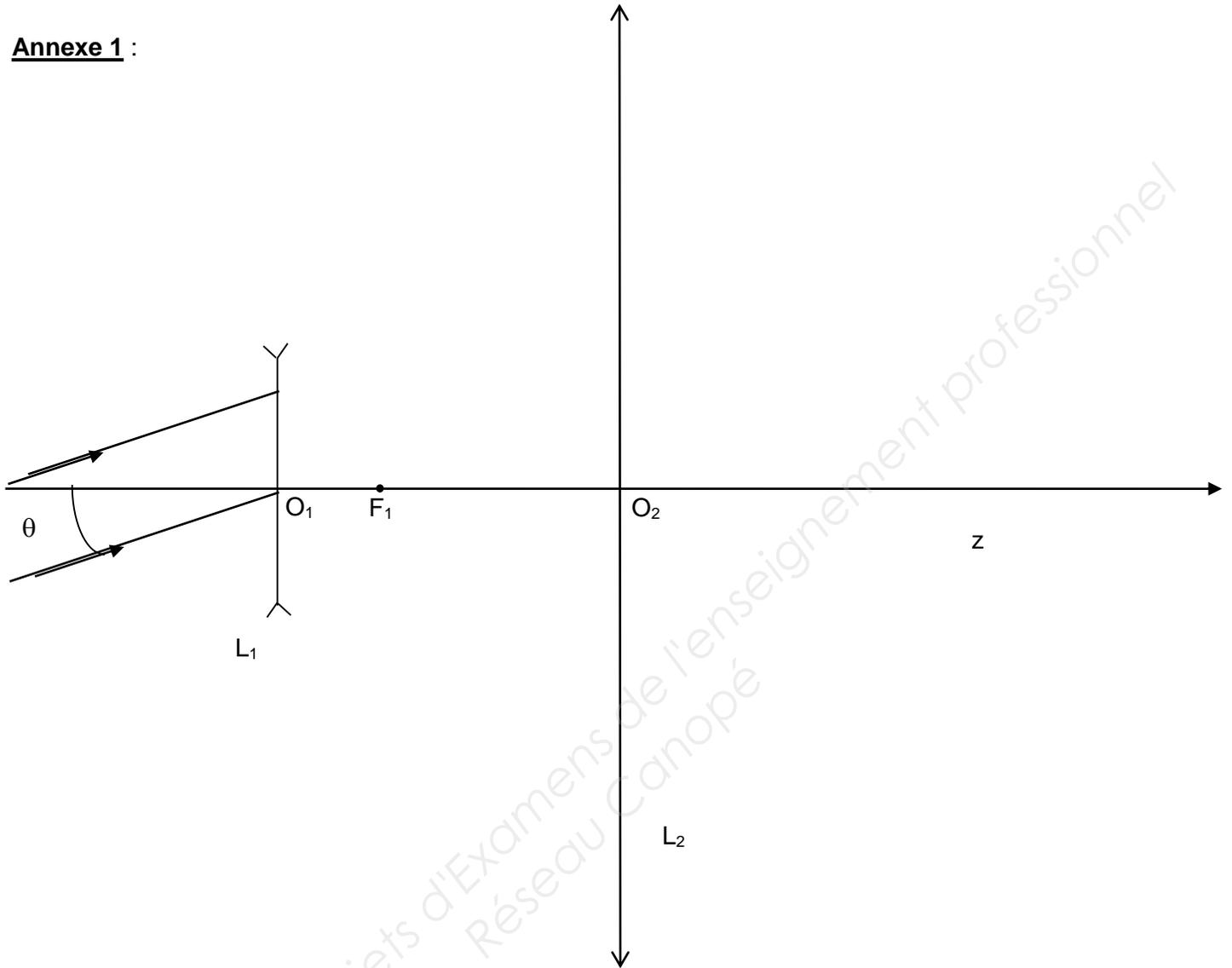
## 2. Filtrage spectral.

Les relations données ou démontrées dans les questions précédentes seront utilisées pour répondre aux questions qui suivent.

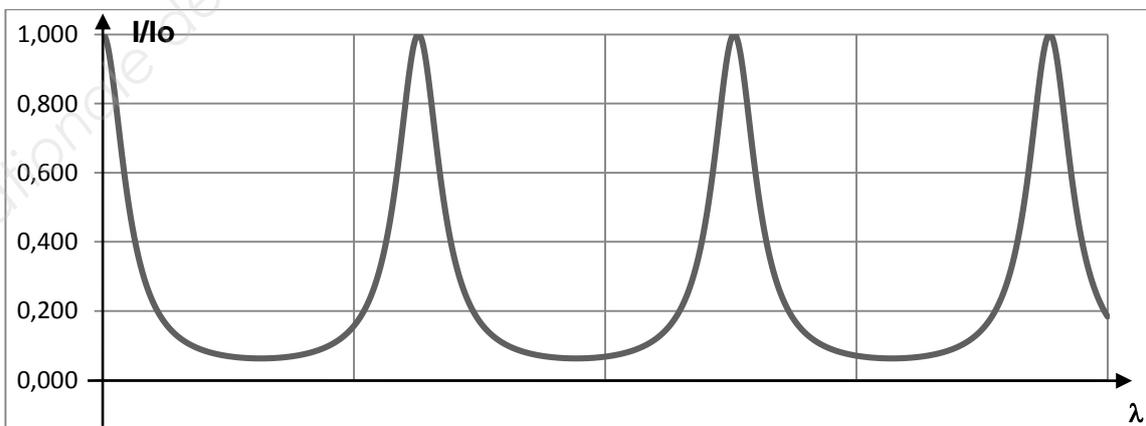
- 2.1 On peut montrer que la finesse du filtre est donnée par :  $F = \frac{\pi\sqrt{R}}{1-R}$ . Donner la valeur numérique de la finesse F.
- 2.2 Sachant qu'une longueur d'onde  $\lambda_p$  est sélectionnée si elle vérifie :  $\lambda_p = \frac{2n \times e}{p}$  avec p entier naturel, déterminer la seule longueur d'onde  $\lambda_f$  que ce filtre laisse passer parmi celles du domaine de longueurs d'onde 510 nm et 550 nm.
- 2.3 Calculer l' ISL en longueur d'onde du filtre,  $\Delta\lambda_f$ , pour la longueur d'onde  $\lambda_f$ .
- 2.4 Le filtre a une largeur spectrale  $\delta\lambda_f$  qui détermine la bande de longueur d'onde sélectionnée autour de  $\lambda_f$ . Montrer que  $\delta\lambda_f$  a une valeur voisine de 0,5 nm.
- 2.5 La source laser du lidar émet à 532 nm, avec une largeur spectrale de 0,2 nm. Le filtre est destiné à laisser passer la lumière du signal rétrodiffusé. Le filtre choisi joue-t-il son rôle ? Justifier.

# Annexes à rendre avec la copie

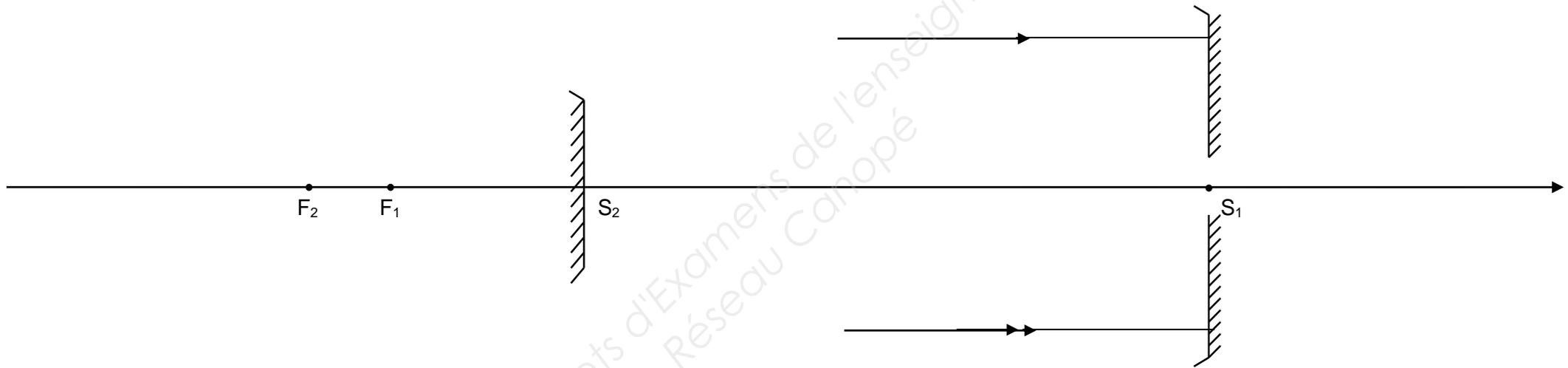
## Annexe 1 :



## Annexe 2 :



**Annexe 3 :**



BTS GÉNIE OPTIQUE OPTION PHOTONIQUE	<b>SUJET</b>	SESSION 2016
U 42 : Physique appliquée	Code : GOPHYPH	Page 10