

IIIb. ÉNONCÉ DESTINÉ AU CANDIDAT

NOM :	Prénom :
Centre d'examen :	n° d'inscription :

Ce sujet comporte **six** feuilles individuelles sur lesquelles le candidat doit consigner ses réponses. Le candidat doit restituer ce document avant de sortir de la salle d'examen.

Le candidat doit agir en autonomie et faire preuve d'initiative tout au long de l'épreuve.
En cas de difficulté, le candidat peut solliciter l'examineur afin de lui permettre de continuer la tâche.
L'examineur peut intervenir à tout moment, s'il le juge utile.
L'utilisation de la calculatrice est autorisée.

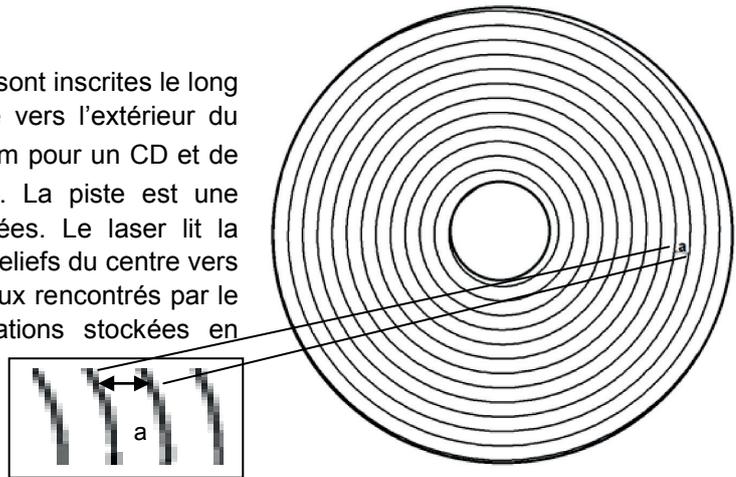
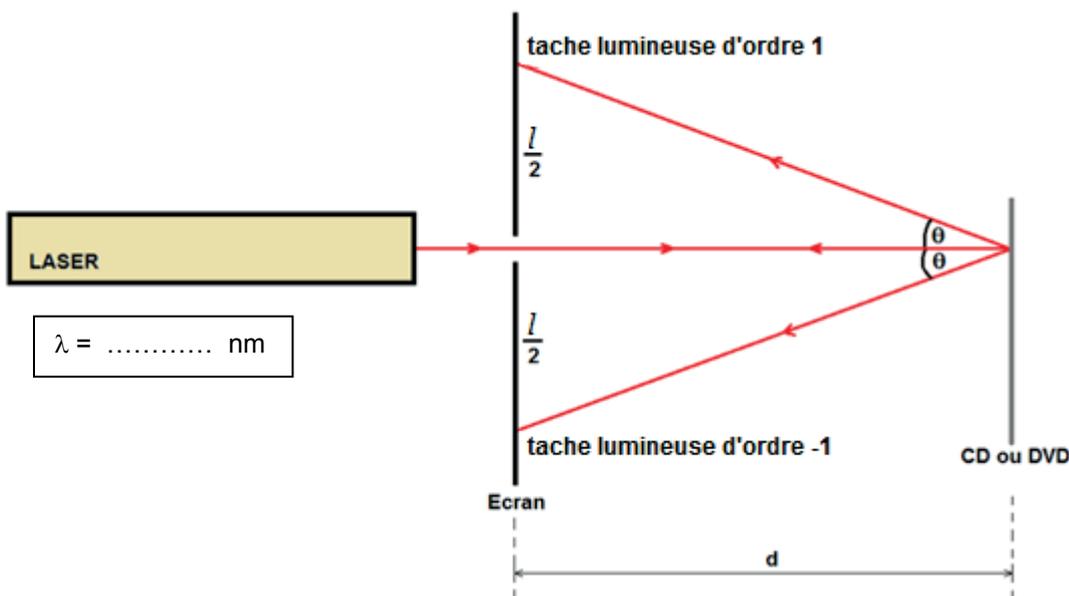
CONTEXTE DU SUJET**Course au stockage de l'information**

Lancé en 1996, supplantant le CD, le DVD était un support de stockage optique de grande capacité pour les données informatiques et audio-vidéo de haute qualité. Dix ans plus tard, le disque Blu-ray arrivait sur le marché. Il permettait de stocker davantage d'informations sur la même surface grâce à l'utilisation d'un spot laser de diamètre plus petit éclairant des sillons de gravure plus étroits, plus rapprochés, comportant des alvéoles plus courtes. Le Blu-ray pourrait bien être le dernier format de lecture optique de l'Histoire. L'industrie a déjà trouvé des remplaçants : les mémoires flash et les clés USB de très grandes capacités ou la dématérialisation permise par les très hauts débits d'internet.

Le but de cette épreuve est d'utiliser le phénomène d'interférences lumineuses pour calculer la longueur de la piste d'un DVD ou d'un CD, caractéristique de sa capacité de stockage.

DOCUMENTS MIS A DISPOSITION DU CANDIDAT**Document n°1 : lecture des données d'un support optique gravé**

Sur les supports optiques, les informations sont inscrites le long d'une piste en spirale enroulée du centre vers l'extérieur du disque. Le pas a de la spirale est de $1,6 \mu\text{m}$ pour un CD et de $0,73 \mu\text{m}$ pour un DVD (figure ci-contre). La piste est une succession de creux et de bosses gravées. Le laser lit la totalité de la piste où sont gravés les microreliefs du centre vers l'extérieur du disque. Les bosses et les creux rencontrés par le laser permettent de traduire les informations stockées en données numériques.

**Document n°2 : figure d'interférences et support optique gravé**

En dirigeant le faisceau laser perpendiculairement au support gravé mais pas trop proche de son centre on obtient, par réflexion, une figure d'interférences caractéristique. Cette dernière, formée de taches lumineuses distribuées symétriquement par rapport à la position du faisceau incident, résulte de la superposition des multiples faisceaux diffractés par les sources secondaires que forment les sillons du support inclus dans le diamètre du spot laser.

Document n°3 : calcul du pas du disque optique

Si le faisceau laser éclaire le support gravé selon la disposition décrite dans le document n°2, on peut montrer que la distance a entre deux sources secondaires, également nommée « pas », est définie par la relation :

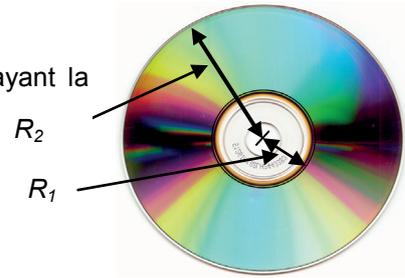
$$a = \lambda \sqrt{1 + 4 \left(\frac{d}{l}\right)^2}$$

avec λ la longueur d'onde de la lumière laser et l la grandeur indiquée sur le schéma du document n°2.

Document n°4 : calcul de la longueur de la piste

Sur un disque optique, les données sont inscrites sur une surface ayant la forme d'une couronne de rayon intérieur R_1 et de rayon extérieur R_2 . La longueur L de la piste est liée au pas a du disque optique par la relation :

$$L = \frac{\pi(R_2^2 - R_1^2)}{a}$$

**Matériel mis à disposition du candidat**

- un écran rigide rectangulaire troué en son centre et son système de fixation. Pour des raisons de sécurité dues à l'utilisation d'une source laser, un des grands côtés de l'écran devra rester en contact avec la table lors de la manipulation ;
- une bande de papier trouée fixée à l'aide de scotch sur l'écran ;
- un laser ou une diode laser dont la longueur d'onde λ est connue ;
- un CD, un DVD et un fond de boîte de CD/DVD pour fixer le support optique choisi ;
- un ensemble potence + pince pour fixer et régler l'orientation du fond de la boîte du CD/DVD ;
- une équerre ;
- un support élévateur pour positionner le laser ;
- une règle graduée ou un réglet de longueur 50 cm ;
- une lampe de poche ou lampe de bureau.

TRAVAIL À EFFECTUER**1. Recherche d'un protocole expérimental (20 minutes conseillées)**

On souhaite mettre en œuvre une expérience permettant d'accéder à une grandeur facile à mesurer, en lien avec la capacité de stockage d'un support gravé.

À partir des documents n°1, 2, 3 et de la liste de matériel :

- identifier la grandeur à mesurer, en lien avec la capacité de stockage du support optique

.....

- cette grandeur n'étant pas accessible par la mesure directe, identifier les grandeurs à mesurer qui permettront ensuite de calculer sa valeur numérique

.....

.....

À partir de la liste de matériel, proposer un protocole expérimental permettant d'accéder à cette grandeur liée à la capacité de stockage d'un support optique CD ou DVD.

Remarque : le protocole expérimental doit expliciter la façon dont on va utiliser le matériel, l'ordre dans lequel les différents objets seront disposés, les mesures à réaliser et leur exploitation.

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

Comparer ce résultat expérimental avec la valeur indiquée dans les documents en calculant l'écart-relatif.

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

Identifier au moins deux sources d'incertitudes dans votre expérience. Comment pourrait-on les réduire ?

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

1. Recherche d'un protocole expérimental (20 minutes conseillées)

La compétence **ANALYSER** est mobilisée et évaluée dans cette partie.

Attention, il est impératif de remarquer que la compétence ANALYSER est affectée d'un fort coefficient.

Avant l'appel n°1, l'examineur devra suivre attentivement, en continu, la progression du candidat pour l'orienter éventuellement, mais se gardera d'intervenir trop tôt, afin de laisser le candidat mûrir sa réflexion.

Les critères retenus pour l'évaluation de la compétence **ANALYSER** sont les suivants :

- choisir, concevoir un protocole expérimental.

Pour évaluer cette compétence, l'examineur observe en continu le travail expérimental du candidat et vérifie, au cours de l'appel n°1 :

- qu'il propose un protocole expérimental pertinent, réalisable au laboratoire et mentionnant qu'il faut mesurer la distance l entre la tache lumineuse d'ordre 1 et la tache lumineuse d'ordre -1 de la figure d'interférences générée par le support optique éclairé sous incidence normale par le faisceau laser ainsi que la distance d entre l'écran et le support optique ;
- qu'il soit capable de préciser le matériel, les différentes étapes à suivre, l'utilisation judicieuse de l'écran dont la forme n'est pas anodine, la distance d entre ce dernier et le support optique ainsi que la zone du support optique à éclairer.

Il est par exemple très important que le candidat précise qu'il doit en définitive mesurer la distance l entre la tache lumineuse d'ordre 1 et la tache lumineuse d'ordre -1 et comment il compte le faire.

Remarque : Les réponses du candidat aux questions posées préalablement constituent un indicateur pour l'examineur pour savoir comment le candidat a appréhendé la situation. Il peut également lui permettre de cibler son questionnement.

Voici un exemple de réponse possible pour chaque question posée :

Le paramètre pertinent est le pas a de la spirale du support optique. On acceptera également que le candidat identifie la longueur L de la piste à condition qu'il mentionne la nécessité de déterminer alors au préalable expérimentalement le pas a .

Le pas de la spirale n'est pas accessible par la mesure directe. En effet, il doit être calculé en utilisant l'expression mathématique du document n°3. Les grandeurs à mesurer sont alors la distance l entre la tache lumineuse d'ordre 1 et la tache lumineuse d'ordre -1 de la figure d'interférences et la distance d entre l'écran et le support optique.

Cependant, ces réponses ne constituent pas un élément d'évaluation en tant que tel. L'élément d'appréciation de la compétence **ANALYSER** reste la formulation du protocole. Si le protocole est correct, le candidat ne saurait être pénalisé pour des réponses incorrectes ou approximatives.

Si nécessaire, l'examineur intervient d'abord de façon ponctuelle et sous forme de questions pour guider le candidat ou l'amener à rectifier par lui-même ses erreurs. Ensuite, l'examineur peut intervenir pour apporter au candidat une solution partielle. Enfin, si le candidat ne parvient toujours pas à progresser dans sa tâche, l'examineur peut lui apporter une solution totale.

Exemples de solutions partielles pour la compétence ANALYSER**Solution partielle 1**

Placer les différents objets dans comme indiqué sur la figure du document n°2.

Solution partielle 2

Il faut diriger le faisceau laser perpendiculairement au disque optique, pas trop proche de son centre et vérifier que l'écran est bien perpendiculaire au faisceau incident du laser.

Solution partielle 3

Mesurer la distance l entre la tache lumineuse d'ordre 1 et la tache lumineuse d'ordre -1 de la figure d'interférences et/ou la distance d entre le support optique et l'écran.

Solution partielle 4

Utiliser la formule pour en déduire le pas a du support optique.

Exemples de solutions totales pour la compétence ANALYSER**Solution totale**

- placer dans l'ordre suivant : le laser, l'écran puis le support optique CD/DVD sur sa boîte ;
- diriger le faisceau laser perpendiculairement au support optique mais pas trop proche de son centre ;
- vérifier que l'écran est bien perpendiculaire au faisceau incident du laser ;
- régler la distance d de telle sorte que l'on puisse observer sur l'écran la tache lumineuse d'ordre 1 et la tache lumineuse d'ordre -1 ;
- mesurer la distance l entre la tache lumineuse d'ordre 1 et la tache lumineuse d'ordre -1 de la figure d'interférences et la distance d entre l'écran et le support optique ;
- utiliser la formule pour en déduire le pas du support optique choisi par le candidat.

2. Mise en œuvre du protocole expérimental (10 minutes conseillées)

La compétence **RÉALISER** est mobilisée et évaluée dans cette partie.

La compétence RÉALISER est mobilisée et évaluée dans une autre partie (partie 3). L'examinateur attend que les différentes tâches associées soient réalisées avant d'associer un niveau à cette compétence.

Attention, il est impératif de remarquer que la compétence RÉALISER est affectée d'un fort coefficient.

Les critères retenus pour l'évaluation de la compétence **RÉALISER** sont les suivants :

- Suivre un protocole.
- Utiliser le matériel de manière adaptée.
- Respecter les règles de sécurité.
- Effectuer des mesures avec précision.

Pour évaluer cette compétence, l'examinateur observe en continu le travail expérimental du candidat et vérifie :

- qu'il installe le matériel de manière correcte et conforme au protocole expérimental ;
- qu'il utilise convenablement le matériel en travaillant en incidence normale et en réflexion, qu'il règle la perpendicularité de l'écran par rapport au faisceau incident, qu'il choisit une distance qui permette d'observer la tache lumineuse d'ordre 1 et la tache lumineuse d'ordre -1 de la figure d'interférences sur l'écran, qu'il éclaire une zone du support optique pas trop proche de son centre ;
- qu'il suit le protocole proposé en mesurant correctement et avec précision la distance l entre la tache lumineuse d'ordre 1 et la tache lumineuse d'ordre -1 de la figure d'interférences et la distance d entre l'écran et le support optique.

Si nécessaire, l'examinateur intervient d'abord de façon ponctuelle et sous forme de questions pour guider le candidat ou l'amener à rectifier par lui-même ses erreurs. Ensuite, l'examinateur peut intervenir pour apporter au candidat une solution partielle. Enfin, si le candidat ne parvient toujours pas à progresser dans sa tâche, l'examinateur peut lui apporter une solution totale.

Exemples de solutions partielles pour la compétence RÉALISER**Solution partielle 1**

Positionner convenablement à la place du candidat le matériel (écran, boîte support avec CD ou DVD, laser) et régler le montage pour obtenir les taches lumineuses d'ordres +1 et -1 sur la feuille de papier fixée sur l'écran.

Solution partielle 2

Faire les mesures de l et d à la place du candidat (CD).

Solution partielle 3

Faire les mesures de l et d à la place du candidat (DVD).

Exemples de solutions totales pour la compétence RÉALISER**Solution totale 1**

Pour le CD, la distance d vaut 40 cm si la distance l vaut 36 cm. (diode laser rouge $\lambda = 650$ nm)

Solution totale 2

Pour le DVD, la distance d vaut 9,5 cm si la distance l vaut 37 cm. (diode laser rouge $\lambda = 650$ nm)

3. Exploitation des mesures (30 minutes conseillées)

Les compétences RÉALISER et VALIDER sont mobilisées et évaluées dans cette partie. La compétence RÉALISER est également mobilisée et évaluée dans la partie 2.

Attention, il est impératif de remarquer que la compétence RÉALISER est affectée d'un fort coefficient.

Les critères retenus pour l'évaluation de la compétence **RÉALISER** sont les suivants :

- effectuer des mesures avec précision ;
- effectuer un calcul simple.

Pour évaluer cette compétence, l'examineur observe en continu le travail du candidat et vérifie :

- qu'il effectue correctement les calculs du pas a et de la longueur L de la piste en choisissant les unités et le nombre de chiffres significatif adéquats (**appel n°2**);
- qu'il a correctement repéré et mesuré les rayons intérieur R_1 et extérieur R_2 sur le support optique choisi.

Exemples de solutions partielles pour la compétence RÉALISER à destination de l'examineur**Solution partielle 1**

L'examineur rappelle qu'il faut utiliser la relation donnée dans le document n°3 pour calculer la valeur du pas en étant attentif au choix des unités et du nombre de chiffres significatifs.

Solution partielle 2

Mesurer les rayons intérieur R_1 et extérieur R_2 à partir du centre de support.

Solution partielle 3

L'examineur rappelle au candidat la formule du document n°4.

La longueur L de la spirale est donnée par :

$$L = \frac{\pi(R_2^2 - R_1^2)}{a}$$

Solution partielle 4

Toutes les grandeurs R_1 , R_2 et a doivent être exprimées en mètres pour obtenir la longueur L de la piste en mètres.

Exemples de solution totale pour la compétence REALISER**Solution totale 1 :**

Calculs du pas du disque optique :

Pour le CD, la distance d vaut 40 cm si la distance l vaut 36 cm. (diode laser rouge $\lambda = 650$ nm)

$$a = 650 \times 10^{-9} \times \sqrt{1 + 4 \times \left(\frac{0,4}{0,36}\right)^2} = 1,4 \times 10^{-6} \text{ m} = 1,4 \text{ } \mu\text{m}$$

Pour le DVD, la distance d vaut 9,5 cm si la distance l vaut 37 cm. (diode laser rouge $\lambda = 650$ nm)

$$a = 650 \times 10^{-9} \times \sqrt{1 + 4 \times \left(\frac{0,095}{0,37}\right)^2} = 0,33 \times 10^{-6} \text{ m} = 0,33 \text{ } \mu\text{m}$$

La solution totale 2 est donnée à l'évaluateur à titre d'information et ne doit pas être fournie au candidat.**Solution totale 2 :**Pour le CD et le DVD : on a $R_1 = 2,2$ cm et $R_2 = 5,9$ cm.

Calculs de la longueur de la piste :

$$\text{Pour le CD : } L_{\text{CD}} = \frac{\pi(0,059^2 - 0,022^2)}{1,6 \times 10^{-6}} = 5,9 \times 10^3 \text{ m} = 5,9 \text{ km}$$

$$\text{Pour le DVD : } L_{\text{DVD}} = \frac{\pi(0,059^2 - 0,022^2)}{7,3 \times 10^{-7}} = 1,3 \times 10^4 \text{ m} = 13 \text{ km}$$

La compétence **VALIDER** est mobilisée et évaluée dans cette partie.Les critères retenus pour l'évaluation de la compétence **VALIDER** sont les suivants :

- exploiter des mesures ;
- utiliser les symboles et unités adéquats ;
- vérifier les résultats obtenus ;
- analyser des résultats de façon critique ;
- proposer des améliorations de la démarche ou du modèle.

Pour évaluer cette compétence, l'examineur observe en continu le travail expérimental du candidat et vérifie, au cours de **l'appel n°2** :

- qu'il calcule le pas du support optique en utilisant la formule, exprime le résultat avec un nombre de chiffres significatifs corrects et la bonne unité ;
- qu'il compare de façon pertinente les valeurs expérimentales des pas (CD ou du DVD) aux valeurs de références que l'on tire du document n°1 en calculant l'écart relatif avec un nombre de chiffres significatifs adapté aux résultats obtenus précédemment ;
- qu'il identifie deux sources d'erreurs expérimentales et propose les modifications du protocole expérimental ou un changement de matériel permettant d'améliorer la précision des résultats expérimentaux.

Si nécessaire, l'examineur intervient d'abord de façon ponctuelle et sous forme de questions pour guider le candidat ou l'amener à rectifier par lui-même ses erreurs. Ensuite, l'examineur peut intervenir pour apporter au candidat une solution partielle. Enfin, si le candidat ne parvient toujours pas à progresser dans sa tâche, l'examineur peut lui apporter une solution totale.

Exemples de solutions partielles pour la compétence VALIDER**Solution partielle 1**

Fournir au candidat la formule de l'écart-relatif :

$$\frac{|a_{théorique} - a_{expérimental}|}{a_{théorique}}$$

Solution partielle 2

Indiquer une source d'incertitude au candidat et lui demander d'en identifier une autre.

Solution partielle 3

Faire le lien entre la source d'incertitude identifiée par le candidat et la modification du protocole expérimental permettant d'améliorer la précision de la mesure.

Exemple de solution totale pour la compétence VALIDER à destination de l'examinateur

La solution totale correspondant à la dernière compétence évaluée est donnée à l'évaluateur à titre d'information et ne doit pas être fournie au candidat.

Solution totale

- Sources d'incertitudes :

- réglage du dispositif ;
- mesure de d (pointé et instrument de mesure) ;
- mesure de la distance l (pointé et instrument de mesure) ;
- incertitude du constructeur sur la valeur de la longueur d'onde du laser.

- Proposition :

- augmenter la distance d pour que la distance l augmente ;
- Pour augmenter la distance d qui est une source d'incertitude importante dans le cas du DVD, on peut utiliser un laser de longueur d'onde plus petite (diode laser verte à 532 nm).