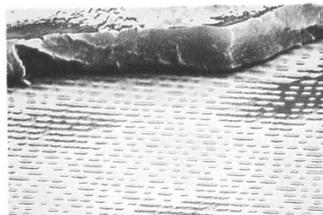


Feuille d'exercices 7 : les ondes comme porteuses d'information

I- Etude d'un cd audio

Le cd audio (disque compact) est apparu dans les années 80 sur un brevet conjoint Philips et Sony. Lors d'un enregistrement les vibrations sonores sont captées par un microphone et transformées en une tension électrique. Le signal est échantillonné avec une fréquence $f_e = 44,1 \text{ kHz}$, quantifié puis numérisé. Il est codé afin de réduire les erreurs de lecture avant d'être pressé sur un support. Le brevet de Philips prévoyait à l'origine une durée de 60 min d'enregistrement. À la demande de Sony, la durée fut augmentée afin de faire tenir la neuvième symphonie de Beethoven sur un seul disque : la durée maximale est finalement portée à 74 min. La quantification du signal était elle prévue pour 14 bits et fut portée à 16 bits.

« Un CD préenregistré est une galette d'environ 12 cm de diamètre. Observé au microscope la couche métallique qui se trouve sous la surface en polycarbonate (un plastique) présente une succession de creux (les *pits*) dans une plaine (le *land*) qui contiennent l'information tout au long d'une piste (doc. 7). Comment transformer les pits et les lands en 1 et 0 ? En détectant le passage de l'un à l'autre ! Pour cela, un faisceau laser de longueur d'onde 780 nm est focalisé sur la couche métallique en une tache de $1,7 \mu\text{m}$ de diamètre environ (doc. 8). Une partie de la lumière réfléchiée par la couche métallique est collectée par une photodiode. La différence de hauteur entre un pit et un land est ajustée à 125 nm pour que le déphasage entre le faisceau réfléchi par l'un et par l'autre soit égal à π . Donc, lorsque le faisceau est à cheval sur un *land* et un *pit*,

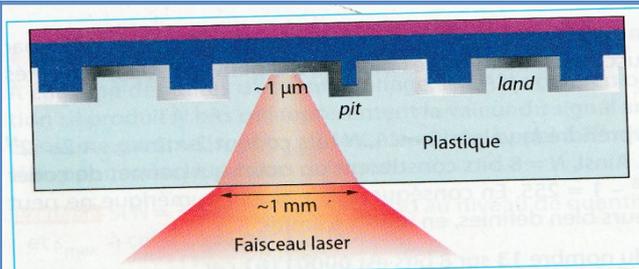
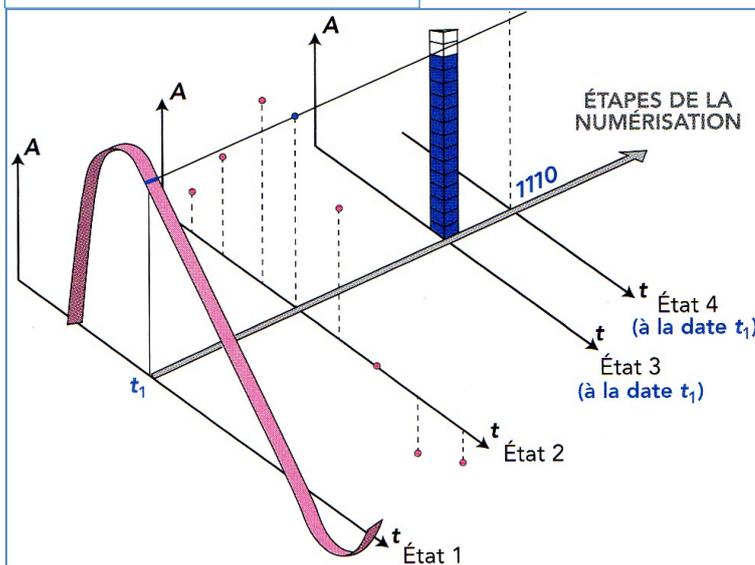


7 Pistes d'un CD. En haut, la couche de plastique qui les recouvre normalement.

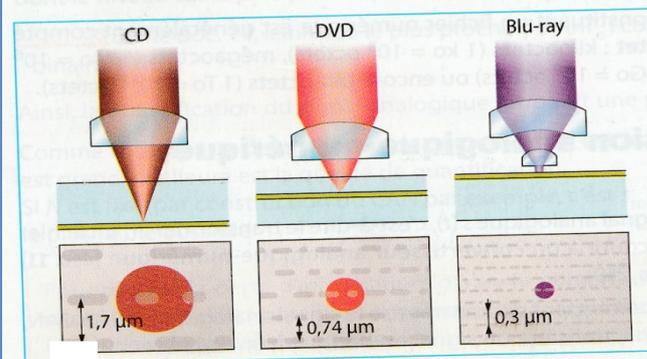
il y a interférence destructive entre les deux moitiés du faisceau et l'intensité lumineuse est minimale. C'est grâce à la variation d'intensité lumineuse que l'on parvient à détecter le passage du faisceau entre *pits* et *land*. Une étape supplémentaire que nous ne détaillerons pas est nécessaire pour retrouver le code binaire original à partir de cette modulation d'intensité.

Comment augmenter la capacité de stockage ? La tache du faisceau laser sur la surface métallique est une tache de diffraction dont le diamètre est proportionnel à la longueur d'onde. Celle des lecteurs Blu-ray est de 405 nm, faisant passer la capacité du disque à 25 Go alors qu'elle était de 700 Mo pour le CD. »

D'après C. Ray et J.-C. Poizat, *La physique par les objets quotidiens*, Belin, 2007.



8 Focalisation du faisceau sur la couche métallique du CD.



9 En diminuant la longueur d'onde du laser, du CD (780 nm) au Blu-ray (405 nm), on réduit la taille de la tache de diffraction. En gris clair, le *land* ; en gris foncé, les *pits* ; en couleur, la tache de diffraction du laser.

A- Etude de l'échantillonnage et la numérisation

- 1°) Identifier la nature numérique ou analogique des signaux correspondant aux états 1 et 2.
- 2°) Que représente la durée séparant deux points consécutifs du signal de l'état 2 ?
- 3°) Nommer :
 - le passage de l'état 1 à 2 ;
 - le passage de l'état 2 à 3 ;
 - le passage de l'état 3 à 4 ;
- 4°) Quel langage est utilisé pour coder cette information numérique ?
- 5°) Pour approcher au mieux ce signal, comment faut-il choisir la fréquence d'échantillonnage ? Quelle conséquence cela a-t-elle sur la taille du fichier ?
- 6°) Quelle est la fréquence d'échantillonnage d'un CD audio ? La comparer avec la fréquence maximale d'un son audible.
- 7°) Si le signal est compris entre -2V et 2V, quelle gamme de calibrage faut-il choisir parmi [-1,+1] ; [-5,+5] ; [10,+10] ? Quel est le nombre correspondant de valeurs permises lors de la quantification du signal ?
- 8°) Comment augmenter la qualité de la conversion analogique numérique ?
- 9°) Sachant que la stéréo enregistre deux échantillons sonores simultanément, montrer que la capacité mémoire d'un tel disque optique est voisine de 780 Mo (Méga octet) et qu'un octet comporte 8 bits.
- 10°) D'après l'énoncé : "La quantification du signal était elle prévue pour 14 bits, mais fut portée à 16 bits". Quels sont les avantages et les inconvénients de quantifier à 16 bits au lieu de 14 ?
- 11°) Un laser part d'un *land* et rencontre le long de la piste une succession de *pits* et de *lands* codée par la séquence 0100101. De quelle succession de *pits* et de *lands* s'agit-il ? Donner l'évolution temporelle du signal électrique produit par la photodiode.

B- Etude du système de focalisation

Les données sont inscrites par pressage de la partie métallique du disque ou sont pressés des renforcements appelés "creux", les parties non enfoncées étant appelées plats. Le laser est réfléchi sur l'autre face de cette couche. Creux et plats se succèdent sur cette piste disposée en spirale à partir de son centre.

L'épaisseur du faisceau laser focalisé par une lentille convergente détermine les longueurs maximales des creux et la distance minimale entre deux positions successives de la piste de lecture. Le diamètre minimum de la tache formée par le laser sur le disque est de $2,11 \mu\text{m}$.

1°) Les capacités de focalisation des lentilles utilisées limitent la finesse de la taille du faisceau laser frappant un disque.

Citer un autre phénomène optique à l'origine de la limitation de la taille du faisceau. Préciser quels en sont les paramètres.

2°) Dans des technologies récentes, sur quelles grandeur physique a-t-on joué pour en réduire l'influence ?

3°) A l'aide des données et de la figure, montrer que la distance L minimale entre les centres de deux passages successifs de la piste vaut $1,4 \mu\text{m}$.

4°) Pour plus de sûreté de lecture, la distance L pour le cd audio de 74 minutes est en réalité $1,6 \mu\text{m}$.

Il existe des cd audio de 80 minutes qui ont une distance L de $1,5 \mu\text{m}$. Expliquer pourquoi la durée est alors plus grande.

C- Le système de lecture interférentielle

Lors de la lecture d'un creux, le spot rencontre à la fois le creux et le plat autour. Une partie du faisceau est réfléchi sur le creux et l'autre est réfléchi dans le plat.

La longueur d'onde du laser dans le vide est $\lambda = 780 \text{ nm}$.

Le milieu dans lequel se propage la lumière du laser dans le disque est du polycarbonate dont l'indice de réfraction est $n = 1,55$.

La célérité de la lumière dans le polycarbonate est $v = \frac{c}{n}$, où $c = 3,00 \cdot 10^8 \text{ m.s}^{-1}$ est la célérité de la lumière dans le vide.

1°) Dans quel domaine se situe ce rayonnement de longueur d'onde $\lambda = 780 \text{ nm}$?

2°) Montrer que la longueur d'onde λ_p dans le polycarbonate s'écrit $\lambda_p = \frac{\lambda}{n}$.

3°) En rappelant que pour que la superposition de l'onde réfléchi sur le plat et l'onde réfléchi sur le creux soit destructive, il faut que la plus petite différence de marche entre les deux ondes soit égale à $\frac{\lambda_p}{2}$. Exprimer puis calculer la profondeur d'un creux dans le polycarbonate.

II- Transmission de l'information

Document 1 : Le très haut débit pour tous les Bretons d'ici à 2030

La Bretagne prend de l'avance sur le très haut débit. Elle est, avec la région Auvergne, la seule à avoir anticipé le maillage en fibre optique de l'intégralité de son territoire. D'ici à 2030, tous les foyers bretons auront accès à cette technologie qui augmente considérablement le débit des connexions Internet. De 1 à 20 mégabits par seconde, il passera à 100 mégabits par seconde, et dans toute la région !

Au cœur de cette petite révolution : l'installation de la fibre optique. Télévision haute définition, téléphone, Internet, photographies et vidéos transiteront désormais grâce à cette fibre optique très rapide... Un opérateur privé installera la fibre optique dans les principales agglomérations bretonnes, couvrant 40% des foyers en 2020... Coût global pour les institutions : 1,8 milliard d'euros.

D'après Bretagne ensemble, Juin 2012

Document 2 :

Atténuation linéique d'un signal : L'atténuation linéique α , correspondant à la diminution de la puissance du signal par

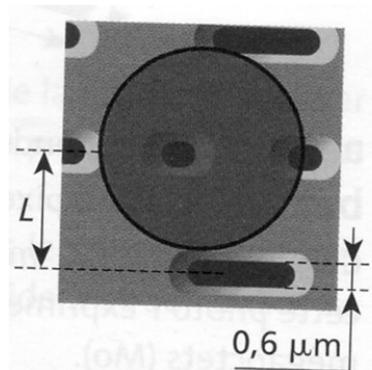
$$\alpha = \frac{10}{L} \log \frac{P_e}{P_s}$$

kilomètre et exprimée en dB/km, est définie par :

Avec : P_e , la puissance du signal à l'entrée du dispositif de transmission

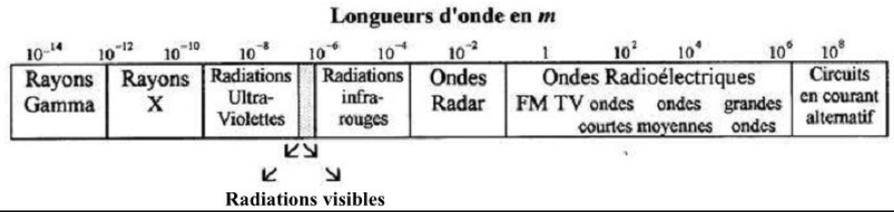
P_s , la puissance du signal à sa sortie

L , la distance parcourue par le signal en km.



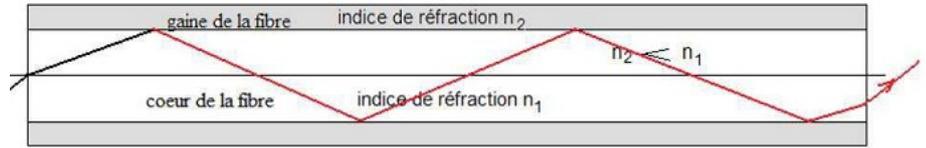
Document 3 :

Domaines du spectre électromagnétique



Document 4 :

Description d'une fibre optique



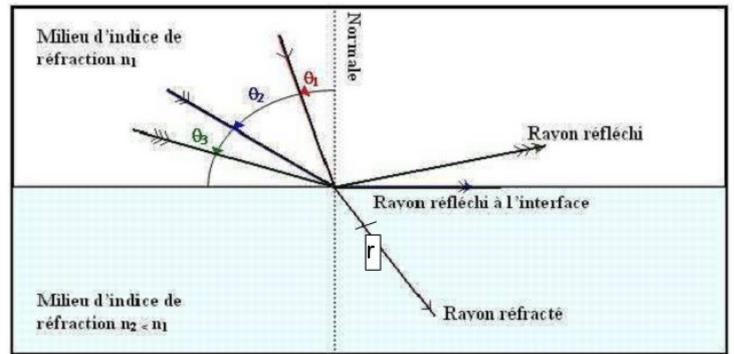
Document 5 : Réflexion totale :

Loi de Snell-Descartes :

$$n_1 \sin \theta_1 = n_2 \sin r.$$

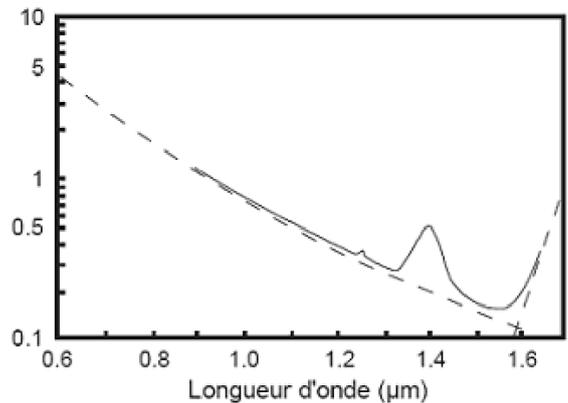
Lorsque l'angle d'incidence θ est supérieur à l'angle limite θ_l , le rayon lumineux incident est totalement réfléchi (cas observé pour l'angle θ_3),

$$\text{on a } \sin \theta_l = n_2 / n_1.$$



Document 6 : Atténuation spectrale d'une fibre optique en silice

α atténuation linéique (en dB/km)



Document 7 : Comparaison entre une fibre optique et un fil de cuivre

Fibre optique	Fil de cuivre
Sensibilité nulle aux ondes électromagnétiques	Grande sensibilité aux ondes électromagnétiques
Faible atténuation du signal : 0,2 dB/km	Forte atténuation du signal : 10 dB/km
Réseau faiblement implanté géographiquement	Réseau fortement implanté géographiquement
Grande largeur de bande : grande quantité d'informations transportées simultanément	Largeur de bande limitée : la quantité d'informations transmises est très limitée

Le déploiement du très haut débit pour tous constitue l'un des plus grands chantiers d'infrastructure pour notre pays au cours des prochaines années. Ses enjeux techniques, économiques et sociaux sont considérables.

1. Procédés physiques de transmission d'informations

À l'aide des documents et des connaissances nécessaires, rédiger en 20 lignes maximum, une synthèse argumentée répondant à la problématique suivante :

« La fibre optique est-elle synonyme d'avenir incontournable pour la transmission d'informations ? »

Pour cela, citer trois types de support de transmission de l'information. Décrire le principe de fonctionnement d'une fibre optique. Préciser ensuite les enjeux pour le déploiement de nouveaux réseaux de transmission d'informations par fibre optique en soulignant les points forts et les points faibles de ce mode de transmission. Répondre enfin à la question posée.

2. Analyse de la qualité d'une transmission

L'atténuation de puissance subie par le signal transmis caractérise la qualité de la transmission.

2.1. À l'aide des documents, déterminer quel est le domaine du spectre électromagnétique à utiliser pour obtenir une transmission d'atténuation minimale avec une fibre optique en silice.

2.2. On suppose que le signal est à nouveau amplifié dès que sa puissance devient inférieure à 1% de sa puissance initiale.

2.2.1. En utilisant le document 2, montrer que l'atténuation du signal, calculée par le produit $\alpha \times L$, est égale à 20 dB à l'instant où le signal est réamplifié.

2.2.2. Combien d'amplificateurs sont-ils nécessaires pour une liaison Rennes-Strasbourg (environ 900 km) dans le cas d'une liaison par fibre optique, puis dans le cas d'une liaison par câble électrique ? Conclure.

3. **Débit binaire.** Une impulsion lumineuse de courte durée envoyée dans la fibre subit un élargissement temporel lorsqu'elle ressortira de celle-ci. Ceci limite rapidement le taux maximal de transfert d'informations à grandes distances par ce type de fibre.

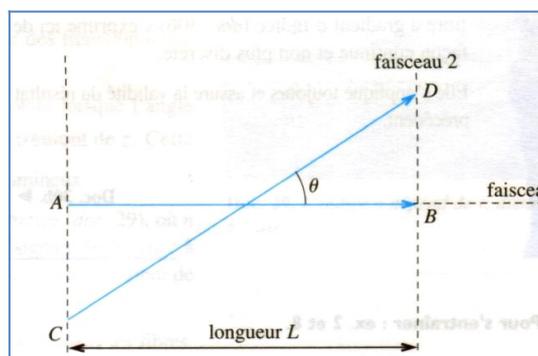
1°) Quelle doit être la valeur de n_2 pour avoir $\theta_{\text{lim}} = 70^\circ$?

2°) a- Exprimer en fonction de L , n_1 , c , et θ , les durées de propagation t_1 et t_2 des deux rayons lumineux dans la fibre, l'un étant parallèle à l'axe de la fibre, l'autre incliné de l'angle θ par rapport à ce même axe.

b- Application numérique : calculer la différence de temps Δt mis par les deux rayons précédents. $L = 1,0$ m puis $L = 10$ km.

$\theta = 20^\circ$.

c- Quelle quantité d'informations peut transférer une telle fibre en une seconde ?



III-

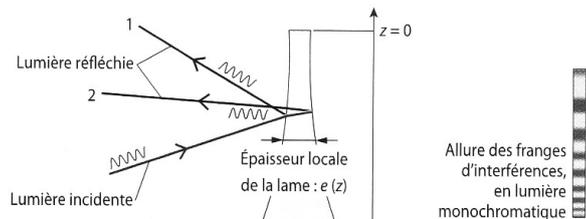
Document 1 Le protocole expérimental.

Fabriquer un cadre rectangulaire en fil de fer fin, préparer un bac contenant un mélange liquide vaisselle + eau + glycérol puis y plonger le cadre avant de le sortir de la solution et de le suspendre à une potence.

Après avoir fait l'obscurité, éclairer la lame de savon verticale ainsi obtenue à l'aide d'une lampe monochromatique ($\lambda = 633$ nm), sur toute sa surface.

Document 2 Des franges d'interférence.

Lorsqu'on observe la lumière réfléchi sur une simple lame (ou bulle) de savon, des franges colorées apparaissent. Cela est dû aux interférences entre les deux types de faisceaux lumineux réfléchis par la lame : le faisceau (1) réfléchi au niveau de la première interface air/savon, et celui (2) réfléchi au niveau de la seconde interface savon/air.

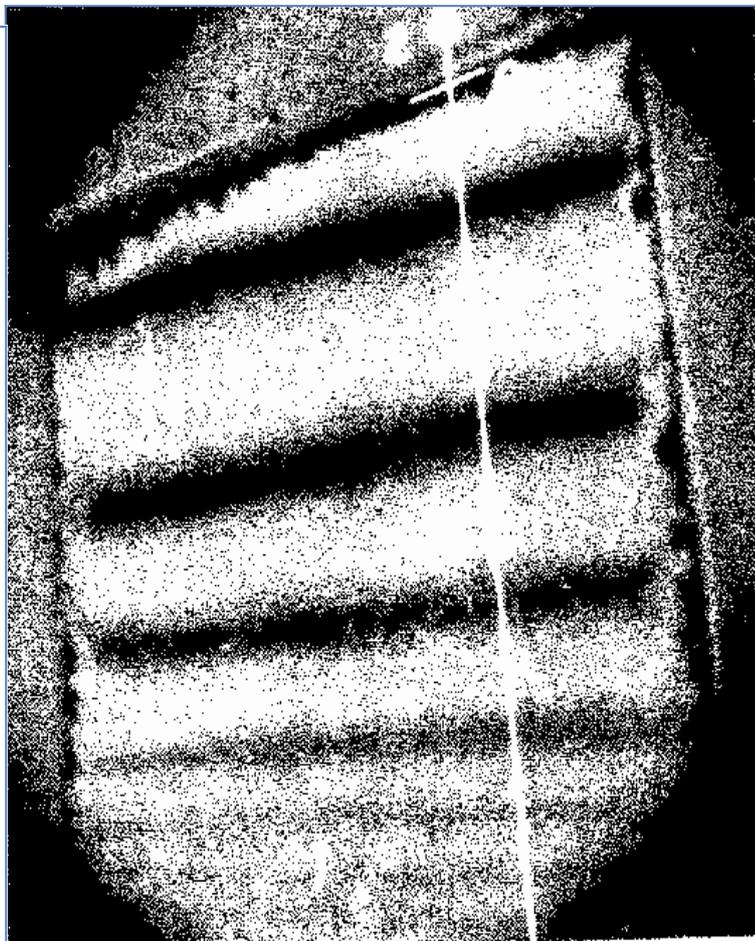


Le second faisceau parcourt une distance plus importante que le premier, car il effectue un aller-retour dans la lame. Il en résulte un déphasage par rapport au premier faisceau : $\Delta\phi \approx \frac{4\pi ne}{\lambda} + \pi$ sous incidence faible où e est

l'épaisseur de la lame, $n = 1,33$ est l'indice de réfraction de l'eau et λ est la longueur d'onde de la lumière qui éclaire la lame.

L'état d'interférence est directement relié à l'épaisseur de la lame. C'est pourquoi on parle de franges d'égale épaisseur : le long d'une frange donnée, l'épaisseur reste constante. Il s'agit en quelque sorte de lignes de niveaux, comme celles qui donnent l'altitude sur une carte.

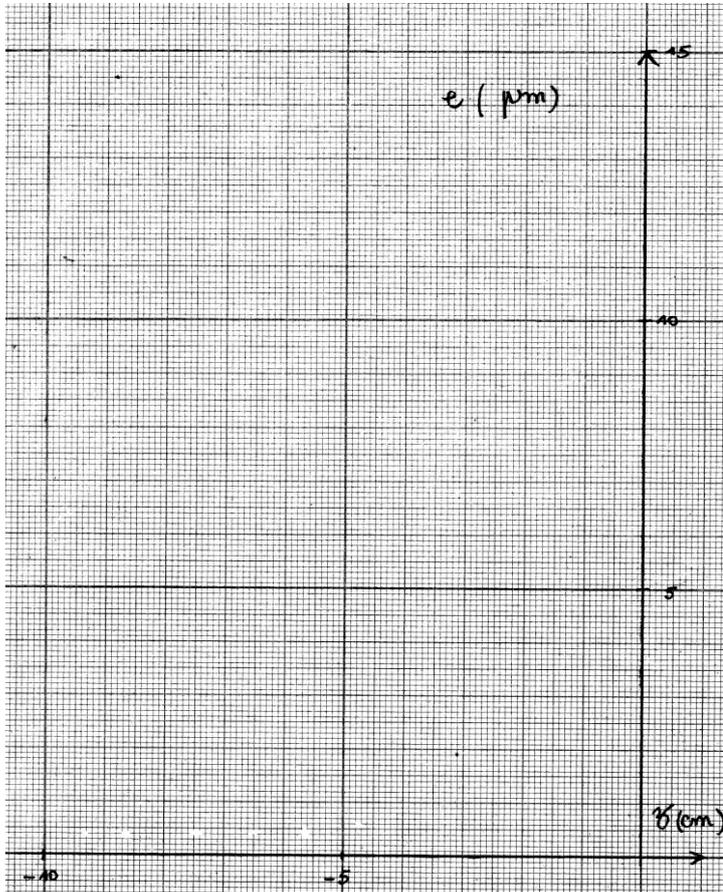
D'après Sylvie Zanier, Université Joseph Fourier, « Montrer la Science », <http://coursouverts.ujf-grenoble.fr/joomla/>



- 1°) Que doit vérifier l'épaisseur e de la lame pour qu'il y ait interférence destructive ?
 2°) Repérer sur le document 3 les positions z des franges sombres (l'origine $z = 0$) est prise tout en haut de la lame.

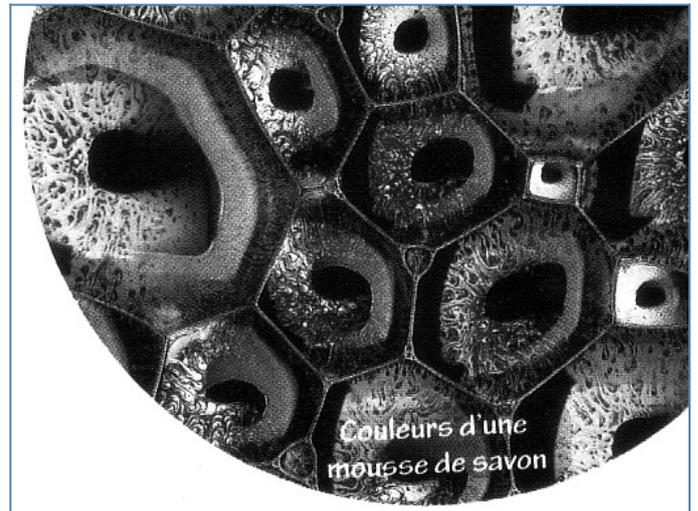
Compléter le tableau ci-dessous et en déduire le graphe représentant l'épaisseur e en fonction de la position sur la lame, comptée le long de l'axe vertical Oz orienté vers le haut.

z (.....)						
e (.....)						



Commenter succinctement l'allure de la courbe.

- 3°) Interpréter les couleurs:
 savon éclairé en lumière blanche.



IV- Effet Doppler pour vérifier la loi de Hubble. La loi de Hubble indique que la valeur v de la vitesse d'éloignement des galaxies est proportionnelle à la distance D qui nous sépare d'elle : $v = H_0 \cdot D$ où H_0 est appelée constante d'Hubble.

L'image fournie en **document 3** présente les spectres relatifs à cinq galaxies. On a identifié dans chacun des spectres deux raies d'absorption (K et H) du calcium ionisé. Ces raies sont indiquées sur le spectre de Virgo par une flèche verticale. On retrouve ces raies sur les autres spectres.

Dans tous les cas, on les observe décalées vers les grandes longueurs d'onde.

Pour ces galaxies lointaines, on considèrera que ce décalage (indiqué par la flèche horizontale) est dû uniquement à l'effet Doppler créé par l'expansion de l'univers, c'est-à-dire par la « fuite des galaxies ».

Le décalage Doppler $\Delta\lambda$ en longueur d'onde de la raie H dans le spectre de la lumière d'une galaxie

s'éloignant à la vitesse v dans la direction de visée, est donnée par la relation : $\frac{\Delta\lambda}{\lambda} = \frac{v}{c}$

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

Données :

Document 1 : chaque spectre est associé au dessous à un spectre de référence pris au laboratoire sur le même cliché que la galaxie et dans les mêmes conditions. Les raies a à g ont les longueurs d'ondes suivantes

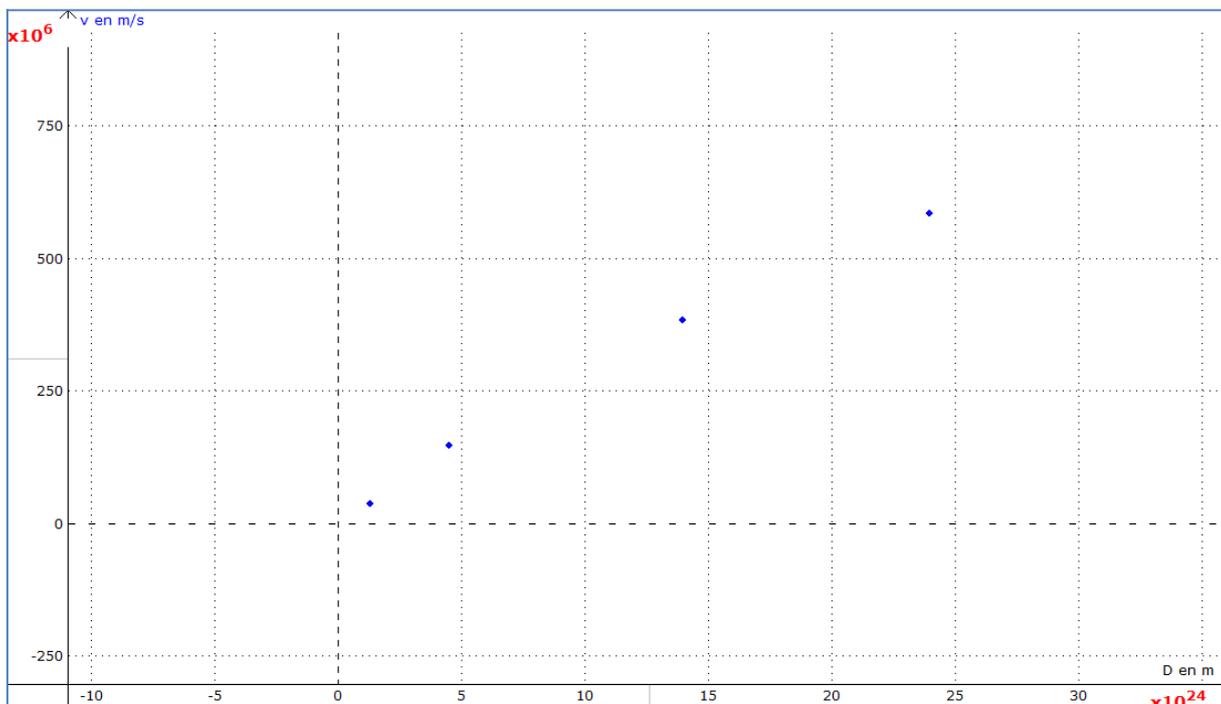
Raie :	a	b	c	d	e	f	g
λ (nm)	388,87	396,47	402,62	414,38	447,15	471,31	501,57

Document 2 : le tableau ci-dessous indique la distance D qui sépare la Terre de chaque galaxie à la date de réalisation de leur spectre

Galaxie	Hydra	Bootes	Corona Borealis	Ursa Major	Virgo
D (m)	$2,4 \cdot 10^{25}$	$1,4 \cdot 10^{25}$	$1,0 \cdot 10^{25}$	$4,5 \cdot 10^{24}$	$1,3 \cdot 10^{24}$
$v (m \cdot s^{-1})$	$3,7 \cdot 10^7$	$14,8 \cdot 10^7$		$38,4 \cdot 10^7$	$58,5 \cdot 10^7$

Document 3 : La raie H est parmi les deux raies, celle de droite. Sa longueur d'onde lorsque la source de lumière est au repos, est égale à : $\lambda = 396,85 \text{ nm}$.

Document 4



1°) a- En lecture des spectres, on admet que le *décalage* en longueur d'onde par rapport à la valeur λ_a de la raie de référence a , est proportionnelle à la distance x mesurée (ici avec la règle graduée) à partir de cette raie.

Déduire du tableau du **document 1** et des spectres du **document 3**, avec le maximum de précision, la relation numérique entre x et $\Delta\lambda$

b- Citer, sans évaluation, deux causes d'incertitude sur une telle mesure de longueur d'onde.

2°) Mesurer pour Corona Boréalisis le décalage spectral. En déduire la vitesse d'éloignement de cette galaxie. Compléter le tableau du **document 2** (où les mesures similaires pour les autres galaxies ont par ailleurs été reportées, pour des raisons de temps limité du contrôle). Reporter cette mesure sur le graphe.

3°) Commenter l'ensemble des documents : comment l'éloignement de l'étoile est-elle confirmée ? La loi de Hubble est-elle vérifiée ?