PUISSANCE ALPHA

Le grand concours Ingénieur

EXERCICES ÉPREUVE PHYSIQUE

INSTRUCTIONS AUX CANDIDATS

Durée de l'épreuve : 1 h 15 min

Chaque épreuve contient 12 exercices indépendants. Le candidat doit répondre à 8 exercices sur les 12 qui lui sont présentés, ce qui lui permet d'éliminer les exercices qui porteraient sur une partie du programme non traitée à la date des épreuves écrites. S'il répond à plus de 8 exercices, seuls les 8 premiers seront corrigés.

Chaque exercice comporte 4 affirmations signalées par les lettres a, b, c, d. Pour chacune des affirmations le candidat indique si l'affirmation est vraie (V) ou fausse (F), ou il s'abstient.

Exercice n°1

Onde progressive sinusoïdale.

Une onde périodique circulaire de fréquence f = 30 Hz est produite à la surface d'un liquide par une pointe qui vibre de manière sinusoïdale. Les cercles représentent les crêtes, c'est-à-dire les maxima de vibration à une date donnée.

a) L'onde est transversale.
b) La longueur d'onde λ est de 15 cm.
c) La célérité de l'onde est V = 1,5 m/s.
d) L'onde passant par A arrive en B avec un retard τ = 100 ms.

Exercice n°2

Concert.

Un groupe de rock amateur comprend une guitare basse, une guitare, un clavier, une batterie et un chanteur. À dix mètres de la scène, le niveau sonore L, exprimé en décibel (dB), est de :

- 60 dB pour le chanteur seul
- 57 dB pour la guitare basse seule
- 60 dB pour la guitare seule
- 60 dB pour la batterie seule
- 63 dB pour le clavier seul

Données : Intensité sonore de référence $I_0 = 1{,}0 \times 10^{-12}$ W.m^{-2} ;
log (A × B) = log A + log B ; 10 × log 2 = 3.

a) Lors du solo de guitare, l'intensité sonore est de $I = 1{,}0 \times 10^{-6}$ W.m^{-2}.
b) Le niveau sonore du groupe lorsqu'ils jouent tous ensemble est de 300 dB.

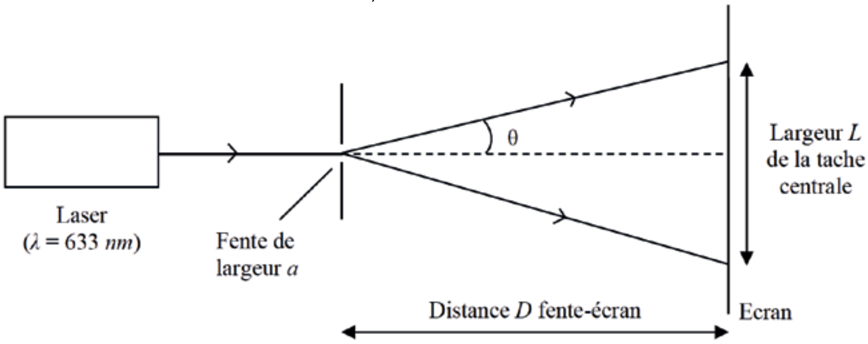
Lorsque le chanteur et la guitare sont les seuls en action :

c) L'intensité sonore est de $1{,}0 \times 10^{-3}$ W.m^{-2}.
d) Le niveau sonore est de 63 dB.

Exercice n°3

Diffraction par une fente.

On éclaire une fente de largeur a = 0,063 mm à l'aide d'un laser émettant un faisceau rouge de longueur d'onde dans le vide λ = 633 nm.
Un écran est situé à une distance D = 2,0 m de la fente.



a) L'écart angulaire θ de l'onde diffractée est d'environ 0,010°.
b) La largeur de la tache centrale de diffraction sur l'écran a une taille de 4,0 cm.
c) L'écart angulaire aurait été plus grand si le faisceau laser utilisé pour l'expérience avait été vert.
d) Si on multiplie par deux la distance entre le laser et la fente, la largeur de la tache centrale de diffraction augmente.

Exercice n°4

Effet Doppler.

En un point O, un véhicule muni d'une sirène émet un son de fréquence f = 1020 Hz. Le son émis se propage dans l'air à la vitesse de V_{son} = 340 m.s^{-1}. Un observateur immobile est situé au point M à une distance d = 680 m.

Données : $\frac{1020}{340} = 3$; $\frac{340}{1020} = 0{,}33$; $\frac{1122}{1020} = 1{,}10$; $\frac{918}{1020} = 0{,}90$.

La fréquence f_R du signal reçu dépend de la vitesse V_E et de la fréquence f_E de l'émetteur selon la relation : $f_R = f_E \times \left(1 \pm \frac{V_E}{V_{son}}\right)$.

Le choix du signe + ou – dans la relation dépend du rapprochement ou de l'éloignement de l'émetteur par rapport au récepteur.

Première phase : Le véhicule est immobile
a) La longueur d'onde du son émis est λ = 3,0 m.
b) L'observateur perçoit le son avec un retard τ = 2,0 s.

Seconde phase : Le véhicule se déplace à vitesse constante vers l'observateur selon une droite de direction OM.
c) Le son perçu par l'observateur est plus aigu.
d) La vitesse du véhicule est V_E = 34m.s^{-1} pour une fréquence perçue de 1122 Hz.

Exercice n°5

Etude documentaire : Vent solaire.

Dans l'atmosphère solaire, les collisions entre les particules sont si violentes que les atomes d'hydrogène se décomposent en électrons et en protons. Ce « matériel » ionisé est appelé plasma. Le vent solaire, c'est lorsque ce plasma s'éloigne du Soleil dans toutes les directions. La vitesse et la densité de ce vent solaire varient beaucoup ; celles-ci sont plus grandes quand le vent provient des régions actives du Soleil, comme les taches ou les protubérances solaires. Le vent solaire prend un peu plus de quatre jours pour atteindre la Terre.
Lors de violentes tempêtes solaires, une grande quantité d'électrons et de protons venant du Soleil arrivent dans l'atmosphère terrestre et excitent les atomes d'oxygène et d'azote, lesquels deviennent subitement lumineux et produisent les voiles de lumière colorée que sont les aurores polaires. On les nomme polaires parce qu'une fois arrivées dans l'atmosphère terrestre, les particules sont prises au piège par le champ magnétique qui les force à se diriger vers les pôles magnétiques nord (aurore boréale) et sud (aurore australe).

D'après, E. Christian, météorologue, www.meteo.org/phenomen/aurore.htm

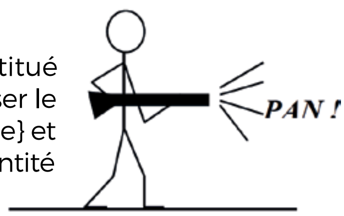
Données : Distance Soleil-Terre : $1{,}50 \times 10^{11}$ m ;
Célérité des ondes électromagnétiques : $3{,}00 \times 10^{8}$ m.s^{-1} ;
$1{,}5 \times 9{,}6 = 14{,}4$; $\frac{1{,}5}{9{,}6} = 0{,}16$

a) Le vent solaire est constitué d'électrons et de protons.
b) Le champ magnétique terrestre a pour direction une droite perpendiculaire à l'axe des pôles.
c) La vitesse moyenne de propagation du vent solaire est d'environ $1{,}6 \times 10^{6}$ km.h^{-1}.
d) Les ondes électromagnétiques issues du Soleil mettent environ 5×10^{1} secondes pour parvenir sur Terre.

Exercice n°6

Quantité de mouvement.

Le schéma représente le système S (supposé pseudo isolé) constitué par un tireur, sa carabine et la balle. Lors du tir on peut décomposer le système en deux sous-systèmes : le sous-système A {tireur + carabine} et le sous-système B {la balle}. On note $\overrightarrow{p_A}$ (respectivement $\overrightarrow{p_B}$) la quantité de mouvement de A (respectivement de B).



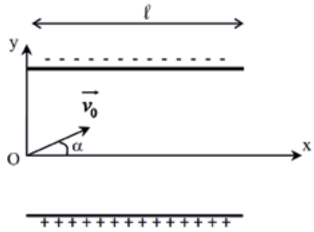
Données : $m_S = 80$ kg ; $m_A = 80$ kg ; $m_B = 8{,}0$ g ; $v_B = 3000$ km.h^{-1} ;

$24 \times 36 = 8{,}7 \times 10^{2}$; $\frac{24}{36} = 0{,}67$; $\frac{36}{24} = 1{,}5$.

a) La quantité de mouvement $\overrightarrow{p_S}$ de S se conserve.
b) Après le tir, on a $\overrightarrow{p_A} = \overrightarrow{p_B}$.
c) La valeur de p_B, après le tir, est de 87 kg.m.s^{-1}.
d) Le tireur est repoussé vers l'arrière avec une vitesse de 0,3 km.h^{-1}.

Exercice n°7

Déviation d'un électron.



Un électron, de masse m et de charge (-e), pénètre au point O, avec une vitesse $\vec{V_0}$ faisant un angle $\alpha = 30°$ avec le plan horizontal, dans un champ électrostatique uniforme $\vec{E}$ créé par deux armatures chargées (cf schéma ci-contre). La vitesse d'entrée de l'électron a pour valeur $v_0 = 2{,}00 \times 10^7$ m.s^{-1}.
Dans l'exercice, on négligera le poids devant la force électrique exercée sur l'électron.

Données : $l = 10{,}0$ cm ; $m = 9{,}11 \times 10^{-31}$ kg ; $E = 5{,}70 \times 10^4$ V.m^{-1} ; $e = 1{,}60 \times 10^{-19}$ C ;

$\sin(30°) = \frac{1}{2}$; $\cos(30°) = \frac{\sqrt{3}}{2}$; $\tan(30°) = \frac{\sqrt{3}}{2} \approx 0{,}57$; $\frac{1{,}60 \times 5{,}70}{9{,}11} = 1{,}00$.

a) Le champ électrique est perpendiculaire aux armatures et de sens vers le bas.

b) Les équations horaires du mouvement de l'électron sont : $\begin{cases} x(t) = v_0 t \cos(\alpha) \\ y(t) = \frac{Ee}{2m} t^2 + v_0 t \sin(\alpha) \end{cases}$

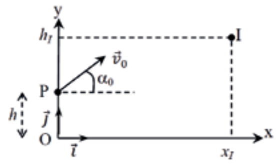
c) L'équation de la trajectoire est $y(x) = -\frac{Ee}{2m}\left(\frac{x}{v_0 \cos(\alpha)}\right)^2 + x \tan(\alpha)$

d) L'électron sort des plaques à l'ordonnée $y_{sortie} \approx -0{,}11$m.

Exercice n°8

Chute libre.

À un instant de date t = 0, on lance un projectile A d'un point P de coordonnées (0;h) avec une vitesse initiale $\overrightarrow{V_0}$, dans une direction qui fait un angle α_0 avec l'horizontale. Le point O, origine du repère $\{0; \vec{i}, \vec{j}\}$, est situé au niveau du sol. Au même instant (t = 0), on laisse tomber, sans vitesse initiale, un projectile B d'un point I de coordonnées (x_I ; h_I). On admet que les projectiles A et B sont en chute libre, le champ de pesanteur $\vec{g}$ étant supposé uniforme.



Les projectiles A et B se rencontrent avant de toucher le sol à la date t1.
Les équations horaires sont :

Pour le projectile A :

$$\begin{cases} x_A(t) = v_0 t \cos(\alpha_0) \\ y_A(t) = -\frac{1}{2} g t^2 + v_0 t \sin(\alpha) + h \end{cases}$$

Pour le projectile B :

$$\begin{cases} x_B(t) = x_1 \\ y_B(t) = -\frac{1}{2} g t^2 + h_1 \end{cases}$$

Données : $v_0 = 5{,}0\ m.s^{-1}$; $\alpha_0 = 45°$; h = 5,0 m ; $x_I = 1{,}0$ m ; g = 10 $m.s^{-2}$;
$\frac{\sqrt{2}}{5} = 0{,}28$; $\sqrt{1{,}2} = 1{,}1$; $\sin(45°) = \cos(45°) = \frac{\sqrt{2}}{2} = 0{,}71$.

a) Pour que les deux projectiles se rencontrent avant de toucher le sol, il faut que :
$\frac{x_1}{v_0 \cos(\alpha_0)} < \sqrt{\frac{2h_1}{g}}$ et $\sin(\alpha_0) = \frac{h_1 - h}{v_0 t_1}$

b) La durée t_1 est de 0,28 s.

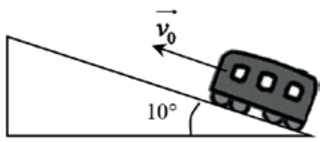
c) Les deux projectiles se rencontrent à l'ordonnée 5,4 m.

d) Les coordonnées du point I sont : $x_I = 1{,}0$ m et $h_I = 6{,}0$ m.

Exercice n°9

Plan incliné.

Le wagon de queue d'un train se détache alors qu'il aborde une côte à la vitesse $v_0 = 30\ m.s^{-1}$. La masse du wagon et des voyageurs est de 170 tonnes, la voie fait un angle de 10° avec l'horizontale. Les roues du wagon sont freinées par un frottement solide d'intensité constante F = 221 kN. Une fois immobilisé, le wagon redescend.



Données : $g \times \sin(10°) \approx 1{,}7\ m.s^{-2}$; $17^2 = 289$; $4 \times 17 = 68$; $\frac{51}{17} = 3$; $\frac{221}{170} = 1{,}3$; $\frac{170}{221} \approx 0{,}77$.

Le frottement solide est présent lors de la montée et de la descente avec la même intensité.

a) L'unité du Newton est $kg.m^{-1}.s^{-2}$.

b) Le wagon va s'arrêter au bout d'environ 10 secondes.

c) Le travail du poids est moteur lors de la descente.

d) Lors de la descente, la valeur de l'accélération du wagon est de 3 $m.s^{-2}$.

Exercice n°10

Station spatiale internationale.

La station spatiale internationale (ISS) est en orbite circulaire autour de la Terre à une altitude h = 400 km. Sa vitesse est constante et égale à V = 7,7 km.s^{-1}. On note G la constante de gravitation universelle.

Données : Rayon de la Terre : $R_T = 6{,}4 \times 10^3$ km ; Masse de la terre : $M_T = 6{,}0 \times 10^{24}$ kg ;

$\frac{43}{7{,}7} = 5{,}6$; $\frac{6{,}8}{2 \times \pi} = 1{,}1$; $\frac{145}{7{,}7} = 19$; $\frac{2 \times \pi}{6{,}8} = 0{,}92$; $\frac{7{,}7}{145} = 0{,}053$; $2 \times \pi \times 6{,}8 = 43$;

$\pi \times (6{,}8)^2 = 145$; $43 \times 7{,}7 = 331$; $145 \times 7{,}7 = 1{,}1 \times 103$; $\frac{7{,}7}{43} = 0{,}18$.

a) La station possède une accélération centripète $a = \frac{V^2}{R_T + h}$.

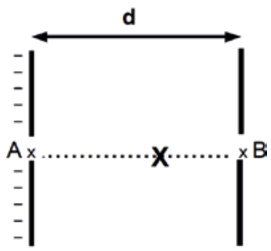
b) La troisième loi de Kepler s'applique en prenant l'altitude h comme demi-grand axe de la trajectoire.

c) La troisième loi de Kepler s'écrit, dans ce cas : $\frac{T^3}{(R_T + h)^2} = \frac{4\pi^2}{GM_T}$.

d) La période de révolution de l'ISS est $T = 5{,}6 \times 10^3$ s.

Exercice n°11

Canon à électrons.



Soit le canon à électrons ci-contre. Les électrons pénètrent en A (potentiel V_A) dans un champ électrostatique uniforme $\vec{V}$ qui permet de les accélérer et ressortent au point B (potentiel V_B). On suppose que la vitesse d'entrée au point A est quasi nulle. L'électron n'est soumis qu'à la force électrostatique $\vec{F}$ conservative à l'intérieur du canon. On note d la longueur de la zone d'interaction. Lorsque l'électron arrive au point X (potentiel V_X), sa vitesse est v_X.

Données : Charge élémentaire $e = 1{,}60 \times 10^{-19}$ C ; Masse de l'électron $m = 9{,}11 \times 10^{-31}$ kg ;

$V_A = -\,4{,}55 \times 10^3$ V ; $V_B = 0$ V ; d = 10,0 cm ; $\frac{4{,}55 \times 1{,}60}{9{,}11} = 0{,}800$;

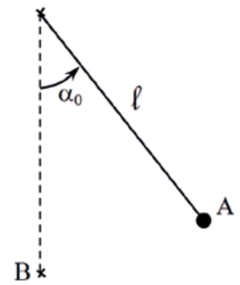
L'énergie potentielle électrique d'une charge q en un point A est $E_p(A) = qV_A$.

a) Le champ électrostatique a pour valeur E = 455 V.m^{-1}.
b) Le travail de la force électrostatique $\vec{F}$, lorsque l'électron se déplace de X à B, est $W_{X \to B}(\vec{F}) = e(V_X - V_B)$.
c) A une constante près, l'énergie mécanique de l'électron au point X est $\varepsilon_m(X) = \frac{1}{2} m v_X^2 - eV_X$.
d) La vitesse au point B est $v_B = 2{,}00 \times 10^7$ m.s^{-1}.

Exercice n°12

Oscillations d'un pendule.

Un pendule simple, de masse m et de longueur l, est lâché sans vitesse initiale, d'un angle $\alpha_0 = 30°$ (point A) avec sa position d'équilibre. On négligera tous les frottements. L'origine des énergies potentielles et des altitudes est prise au point B.



Données : $l = 2{,}0$ m ; $m = 50$ g ; $g = 10$ m.s^{-2} ;

$\cos(30°) = \frac{\sqrt{3}}{2} \approx 0{,}87$; $\sqrt{1{,}3} = 1{,}14$; $\sin(30°) = \frac{1}{2}$.

a) L'énergie mécanique est égale à 130 J.
b) Le point A est à l'altitude $z_A = 26$ cm.
c) La vitesse au point B est $v_B = 2{,}28$ m.s^{-1}.
d) Si le pendule avait été lâché avec une vitesse initiale de 2,0 m.s^{-1}, l'énergie mécanique aurait été augmentée de 100 J.

Exercice n°13

Voyage spatial.

Une navette parcourt les 1300 années-lumière qui séparent la nébuleuse d'Orion et le Soleil. Cette distance est mesurée dans le référentiel héliocentrique. L'horloge de la navette indique que ce voyage a duré $\Delta t_N = 800$ ans. Le référentiel héliocentrique et celui de la navette sont galiléens. On appelle Δt_H la durée du voyage dans le référentiel héliocentrique. Un contrôleur spatial dans le système solaire observe que le voyage dure 900 ans. Les durées propres Δt_0, dans le référentiel R_p, et mesurées Δt, dans le référentiel R, sont reliées par la relation : $\Delta t = \gamma.\Delta t_0$ où $\gamma = \frac{1}{\sqrt{1-\frac{v^2}{c^2}}}$, v représente la vitesse de Rp par rapport à R et c représente la célérité de la lumière.

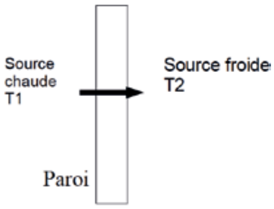
Données : $c = 3{,}00 \times 10^8$ m.s^{-1} ; $\frac{\sqrt{17}}{9} \approx 0{,}46$.

a) Le référentiel de la navette est en translation rectiligne uniforme par rapport au référentiel héliocentrique.
b) Δt_N est une durée mesurée.
c) On peut écrire $\Delta t_H = \gamma.\Delta t_N$.
d) La vitesse de la navette dans le référentiel héliocentrique est $v \approx 0{,}46c$.

Exercice n°14

Isolation thermique.

On estime que les maisons anciennes ont en moyenne besoin de 400 kWh par an et par mètre carré de surface de murs, ouvertures ou toitures pour compenser les pertes thermiques.
Dans le tableau ci-dessous, on donne les flux thermiques Φ ramenés à 1 m² de surface et à 1 K de différence de températures entre l'intérieur et l'extérieur.



Toit		Mur		Vitrage	
isolé	non isolé	isolé	non isolé	isolé	non isolé
$0{,}1\ W.K^{-1}.m^{-2}$	$2{,}5\ W.K^{-1}.m^{-2}$	$0{,}1\ W.K^{-1}.m^{-2}$	$2{,}0\ W.K^{-1}.m^{-2}$	$2{,}0\ W.K^{-1}.m^{-2}$	$5{,}0\ W.K^{-1}.m^{-2}$

Données : Resistance thermique : $R_{TH} = (T_1 - T_2) / \Phi$ avec $T_1 > T_2$.

a) Une maison ancienne présentant une surface totale en contact avec l'atmosphère de 200 m² a besoin d'une énergie d'environ $7{,}20 \times 10^2$ kJ pour se chauffer pendant un an.
b) Pour une surface de 2,5 m² de simple vitrage et pour un écart de température de 10 K, le flux thermique sera de 125 W.
c) Pour une surface de 2,5 m² de double vitrage et pour un écart de température de 10 K, la résistance thermique sera de $0{,}50\ K.W^{-1}$.
d) Une bonne isolation thermique a pour effet de diminuer le flux thermique.

Exercice n°15

Principe du laser.

Le principe du laser réside dans l'émission stimulée des atomes présents dans un gaz, un liquide ou un cristal. Un apport d'énergie fait passer une grande proportion d'atomes dans un état excité E_x. Ces atomes se désexcitent rapidement vers le premier état excité E_2 appelé état métastable. Cette étape est appelée inversion de population et elle est réalisée par pompage optique.

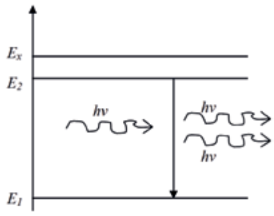


Diagramme d'énergie
Emission stimulée

Considérons un atome quelconque se trouvant dans l'état d'énergie E2. Si une radiation de fréquence υ, telle que hυ = E2 - E1, rencontre cet atome, elle va provoquer sa désexcitation par émission stimulée.

Données : La constante de Planck est $h = 6{,}6\times10^{-34}$ J.s ; 1 eV = $1{,}60\times10^{-19}$J ;
La célérité de la lumière est $c = 3{,}00\times10^{8}\ m.s^{-1}$;

$$E_1 = -10{,}7 \text{ eV} ; E_2 = -8{,}7 \text{ eV} ; \frac{66\times3}{1{,}6} \approx 124 ; \frac{1{,}6}{66\times3} \approx 8\times10^{-3}.$$

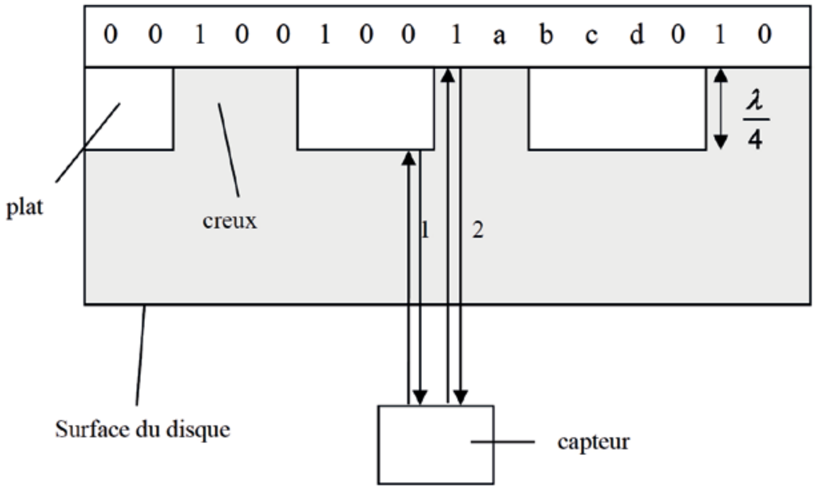
a) Lors de l'émission stimulée, un photon identique au photon incident est émis par l'atome.
b) L'énergie d'un photon émis est $E_{photon} = 3{,}20\times10^{-19}$ J.
c) Le laser utilisé émet un rayonnement monochromatique de longueur d'onde λ =1240 nm.
d) L'énergie d'un laser est concentrée dans un pinceau très étroit.

Exercice n°16

Principe de la lecture sur un compact-disc.

La surface d'un disque compact (CD) comporte une piste plane avec des alvéoles. La piste est donc constituée d'une succession de creux et de plats. Le signal laser forme, sur le disque, une tache de diffraction qui peut recouvrir à la fois un creux et un plat comme cela est illustré sur le schéma cidessous.

Pour simplifier, le faisceau a été représenté parallèle. La partie du faisceau laser réfléchie au niveau d'un plat (1) et celle réfléchie au niveau d'un creux (2) arrivent au capteur avec un déphasage : il se produit des interférences entre (1) et (2). Le principe du codage est le suivant : si le faisceau atteint deux zones planes successivement ou deux zones creuses, le nombre binaire correspondant est un 0. Par contre si le signal passe d'un plat à un creux ou d'un creux à un plat, le nombre binaire associé est 1. La longueur d'onde du laser est, dans le milieu de propagation (polycarbonate), de λ = 500 nm et la profondeur d'un creux est égale à $\frac{\lambda}{4}$ .Le schéma ci-dessous illustre le codage de l'information en fonction de la succession de plats et de creux ainsi que la réflexion du signal à une date donnée.



a) a = c = d = 1.
b) b = 0.
c) La différence de marche entre 1 et 2 est de 125 nm.
d) Les signaux 1 et 2 interfèrent de manière destructive.