Métropole 2015 CORRECTION Yohan Atlan © https://www.vecteurbac.fr/	
CLASSE : Terminale	**EXERCICE 3** : 5 points
VOIE : ☒ Générale	**ENSEIGNEMENT DE SPÉCIALITÉ :** PHYSIQUE-CHIMIE
DURÉE DE L'EXERCICE : 0h53	**CALCULATRICE AUTORISÉE :** ☒ Oui
Sujet original, non modifié. Ancien programme. **L'intégralité de cette annale est conforme au nouveau programme.**	

EXERCICE 3 : Micro-texturation de surface par un laser femtoseconde

1. Domaine d'émission du laser femtoseconde

1.1.

$$\mathrm{c} = \lambda \times \nu_0$$
$$\lambda \times \nu_0 = \mathrm{c}$$
$$\lambda = \frac{\mathrm{c}}{\nu_0}$$
$$\lambda = \frac{3{,}00 \times 10^{8}}{375 \times 10^{12}}$$
$$\lambda = 8{,}00 \times 10^{-7}\mathrm{m}$$
$$\lambda = 800 \times 10^{-9}\mathrm{m}$$
$$\lambda = 800\ \mathrm{nm}$$

D'après les données : « gamme de longueurs d'onde correspondant aux radiations visibles « rouges » : [620 nm - 780 nm] ; »
$\lambda > 780$ nm : c'est pourquoi le laser femto seconde présenté est dit « infrarouge ».

1.2.

La longueur d'onde calculée à la question 1.1. est calculée pour la fréquence centrale du rayonnement émis.
Or ce laser émet une bande d'émission Δv autour de cette fréquence centrale soit Δv/2 avant ν_0 et Δv/2 après ν_0.

Fréquence centrale du rayonnement émis	ν_0 = 375 THz
Largeur de la bande de fréquence d'émission	$\Delta\nu$= 100 THz
Cadence (fréquence) des impulsions	*f* = 1,0 kHz
Durée d'une impulsion	τ = 150 fs
Puissance de crête atteinte durant une impulsion	$P_{crête}$ = 1,0 GW
Diamètre de la section circulaire du faisceau	*D* = 98 µm

Ainsi :

$$\nu = \nu_0 \pm \frac{\Delta\nu}{2}$$
$$\nu_{\mathrm{min}} = \nu_0 - \frac{\Delta\nu}{2}$$
$$\nu_{\mathrm{min}} = 375 - 50$$
$$\nu_{\mathrm{min}} = 325\ \mathrm{THz}$$

$$\nu_{\mathrm{max}} = \nu_0 + \frac{\Delta\nu}{2}$$
$$\nu_{\mathrm{max}} = 375 + 50$$
$$\nu_{\mathrm{max}} = 425\ \mathrm{THz}$$

Calculons les longueurs d'ondes correspondantes :

$$\lambda_{min} = \frac{c}{\nu_{max}}$$
$$\lambda_{min} = \frac{3,00 \times 10^8}{425 \times 10^{12}}$$
$$\lambda_{min} = 7,06 \times 10^{-7} \text{m}$$
$$\lambda_{min} = 706 \times 10^{-9} \text{m}$$
$$\lambda_{min} = 706 \text{ nm}$$

$$\lambda_{max} = \frac{c}{\nu_{min}}$$
$$\lambda_{max} = \frac{3,00 \times 10^8}{325 \times 10^{12}}$$
$$\lambda_{max} = 9,23 \times 10^{-6} \text{m}$$
$$\lambda_{max} = 923 \times 10^{-9} \text{m}$$
$$\lambda_{max} = 923 \text{ nm}$$

Ainsi $706 \text{ nm} < \lambda < 923 \text{ nm}$: une partie de la lumière émise est émise dans la gamme de longueurs d'onde correspondant aux radiations visibles « rouges » : [620 nm - 780 nm].
C'est pourquoi, ce laser apparaît rouge à l'observateur.

2. Caractéristiques d'une impulsion du laser femtoseconde

2.1.

$$E_{impulsion} = P_{crete} \times \Delta t$$
$$E_{impulsion} = 1,0 \times 10^9 \times 150 \times 10^{-15}$$
$$E_{impulsion} = 1,50 \times 10^{-4} \text{ J}$$
$$E_{impulsion} = 0,150 \times 10^{-3} \text{ J}$$
$$E_{impulsion} = 0,150 \text{ mJ}$$

2.2.

Calculons l'énergie d'un seul photon :

$$E = h \times \nu_0$$
$$E = 6,67 \times 10^{-34} \times 375 \times 10^{12}$$
$$E = 2,50 \times 10^{-19} \text{ J}$$

Or l'énergie totale lors d'une impulsion peut s'écrire :

$$E_{impulsion} = N \times E$$
$$N \times E = E_{impulsion}$$
$$N = \frac{E_{impulsion}}{E}$$
$$N = \frac{0,150 \times 10^{-3}}{2,50 \times 10^{-19}}$$
$$N = 6,0 \times 10^{14}$$

Durant une seule impulsion, $6,0 \times 10^{14}$ électrons sont produits par le laser.

3. Gravure par le laser femtoseconde

Déterminons la fluence du laser étudié.

D'après l'énoncé : « La fluence est obtenue en divisant l'énergie d'une impulsion laser (en J) par la surface circulaire gravée (en cm²). »

$$F = \frac{E_{impulsion}}{S}$$

Or la surface est celle d'un disque

$$S = \pi \times r^2$$

$$S = \pi \times \left(\frac{D}{2}\right)^2$$

D'où

$$F = \frac{E_{impulsion}}{\pi \times \left(\frac{D}{2}\right)^2}$$

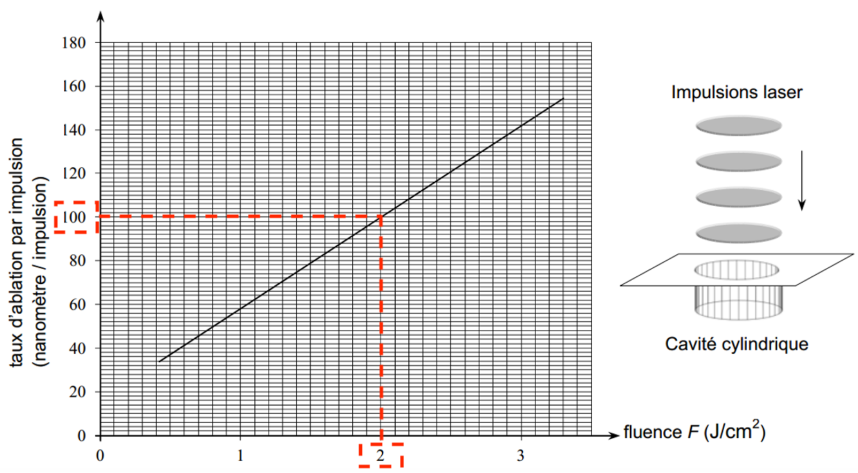
Remarque, on désire la fluence en $J.cm^{-2}$. Nous allons mettre le diamètre en cm pour obtenir des cm^{-2}.

$$F = \frac{0{,}150 \times 10^{-3}}{\pi \times \left(\frac{98 \times 10^{-6} \times 10^2}{2}\right)^2}$$

$$F = 1{,}99 \ \ J.cm^{-2}$$

Déterminons la durée Δt nécessaire à la gravure

Graphiquement pour une fluence de 1,99 $J.cm^{-2}$: le taux d'ablation par impulsion est de 100 nm/impulsion.



Calculons le nombre d'impulsions pour une profondeur de 6 µm.

1 impulsion	100 nm
N	6 µm

$$N = \frac{6 \times 10^{-6} \times 1}{100 \times 10^{-9}}$$

$$N = 60$$

60 impulsions sont donc nécessaires pour graver une profondeur de 6 µm.

Soit T la période, le temps entre deux impulsions.

La durée Δt nécessaire à la gravure est définie par :

$$\Delta t \ = N \times T$$

Or

$$T = \frac{1}{f}$$

D'ou

$$\Delta t = N \times \frac{1}{f}$$

$$\Delta t = 60 \times \frac{1}{1{,}0 \times 10^3}$$

$$\Delta t = 6{,}0 \times 10^{-2} s$$

$$\Delta t = 60 \times 10^{-3} s$$

$$\Delta t = 60 \text{ ms}$$

La durée Δt nécessaire à la gravure d'une cavité circulaire cylindrique de 98 µm de diamètre et de 6 µm de profondeur est de 60 ms.