BACCALAURÉAT GÉNÉRAL

SESSION 2015

PHYSIQUE-CHIMIE

MARDI 23 JUIN 2015

Série S

DURÉE DE L'ÉPREUVE : **3 h 30** – COEFFICIENT : **6**

obligatoire

L'usage d'une calculatrice EST autorisé.

Ce sujet ne nécessite pas de feuille de papier millimétré.

Ce sujet comporte trois exercices présentés sur 10 pages numérotées de 1 à 10 y compris celle-ci.

Le candidat doit traiter les trois exercices qui sont indépendants les uns des autres.

EXERCICE I - LES TROIS RECORDS DE FÉLIX BAUMGARTNER (6,5 points)

Le 14 octobre 2012, Félix Baumgartner a réalisé un saut historique en inscrivant trois records à son tableau de chasse : celui de la plus haute altitude atteinte par un homme en ballon soit 39 045 m d'altitude, le record du plus haut saut en chute libre, et le record de vitesse en chute libre soit 1341,9 km.h^{-1}. Après une ascension dans un ballon gonflé à l'hélium, il a sauté vers la Terre, vêtu d'une combinaison spécifique en ouvrant son parachute au bout de 4 min et 20 s. Le saut a duré en totalité 9 min et 3 s.



Ascension du ballon

Il a fallu concevoir un ballon déformable gigantesque, faisant 100 m de hauteur et 130 m de diamètre lors de son extension maximale. En raison de la diminution de la densité de l'air avec l'altitude, le volume du ballon augmente lors de l'ascension de façon à ce que la poussée d'Archimède reste constante.

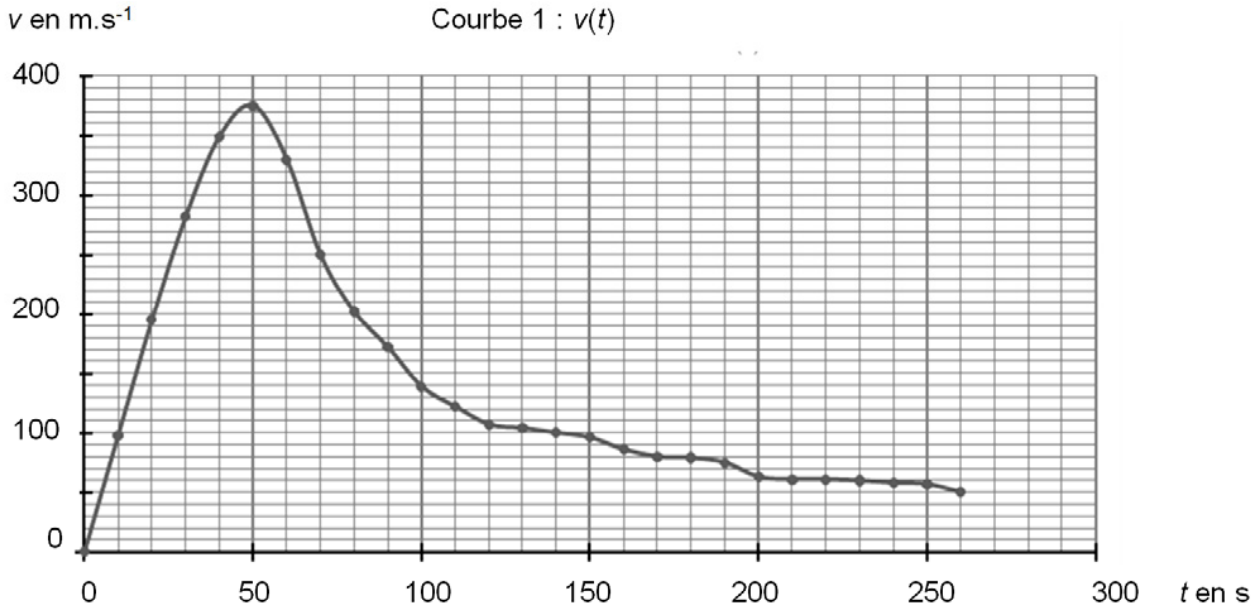
« Pour assurer une vitesse d'ascension suffisante, le volume initial d'hélium utilisé était de 5100 mètres cubes, c'est-à-dire le double du nécessaire pour la sustentation(1). En pratique, si l'on ajoute à la masse de l'équipage celle du ballon et de l'hélium, c'est environ 3 tonnes qu'il a fallu soulever. »

D'après un article de « Pour la Science » janvier 2013

(1) *Sustentation* : état d'un corps maintenu à faible distance au-dessus d'une surface, sans contact avec celle-ci.

Étude du saut de Felix Baumgartner

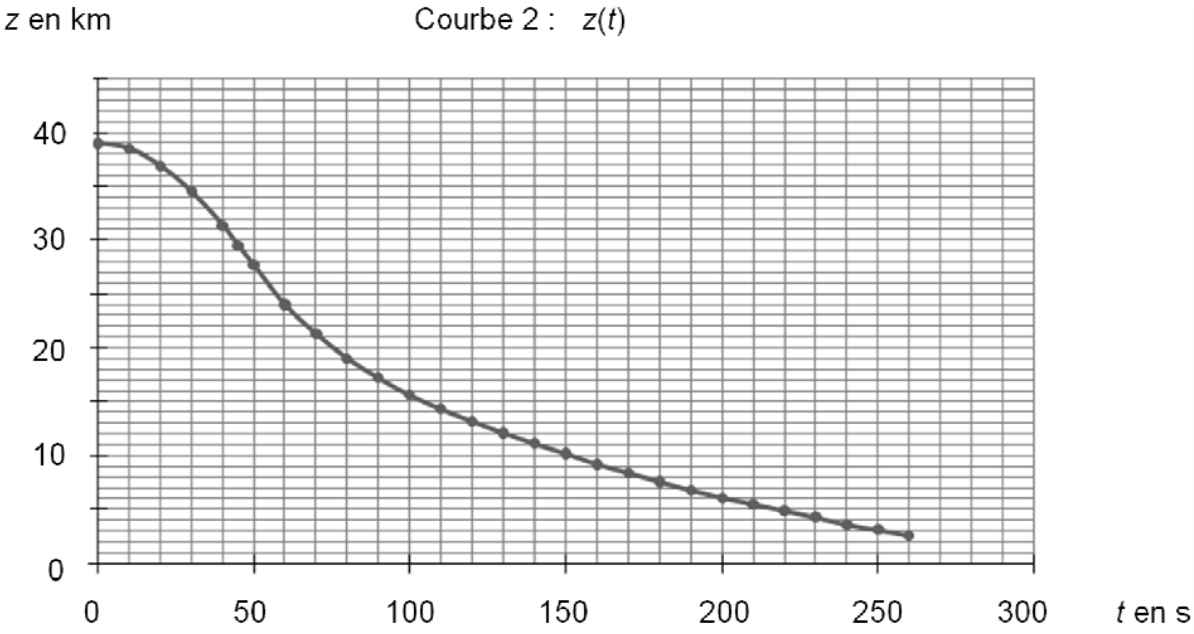
La masse de Félix Baumgartner et de son équipement est m = 120 kg.
La date t = 0 correspond au début du saut de Felix Baumgartner.



Courbe 1 : évolution temporelle de la vitesse v de Félix Baumgartner, dans le référentiel terrestre, jusqu'à l'ouverture du parachute.

Le corrigé détaillé est sur galilee.ac

Voir le corrigé
scanner ou cliquer



Courbe 2 : évolution temporelle de l'altitude *z* par rapport au sol de Félix Baumgartner, jusqu'à l'ouverture du parachute.

D'après www.dailymotion.com/video/x15z8eh_the-full-red-bull-stratos-mission-multi-angle-cameras_sport

Données :

- l'expression de la poussée d'Archimède exercée par l'air sur un corps est la suivante :

  $\overrightarrow{F_A} = \rho_{air}.V.g.\overrightarrow{u_z}$ avec $\overrightarrow{u_z}$ vecteur unitaire vertical vers le haut, ρ_{air} (kg.m^{-3}) masse volumique de l'air dans lequel est plongé le corps, V (m^3) volume du corps placé dans l'air et g intensité du champ de pesanteur ;

- l'intensité du champ de pesanteur est considérée comme constante entre le niveau de la mer et l'altitude de 39 km : g = 9,8 m.s^{-2} ;

- la stratosphère est la couche de l'atmosphère qui s'étend de 10 à 50 km d'altitude environ ;

- la masse volumique de la partie supérieure de la stratosphère est de l'ordre de 0,015 kg.m^{-3}, celle de la troposphère au niveau du sol est 1,22 kg.m^{-3} ;

- la célérité du son dans l'air en fonction de l'altitude est donnée dans le tableau ci-dessous :

Altitude (km)	10	20	30	40
Célérité du son (m.s^{-1})	305	297	301	318

- la vitesse d'un mobile dans un fluide est dite supersonique si elle est supérieure à la célérité du son dans ce fluide.

Le corrigé détaillé est sur galilee.ac
Page 3 / 10
Sujet officiel du baccalauréat · Ministère de l'Éducation nationale
Voir le corrigé
scanner ou cliquer

Partie 1 : ascension en ballon sonde de Félix Baumgartner
Le volume de l'équipage est négligeable par rapport au volume du ballon.

1.1. Indiquer la force qui est responsable de l'ascension du ballon.

1.2. Faire le bilan des forces qui s'exercent sur le système {ballon ; équipage} juste après le décollage, en négligeant les forces de frottement. Illustrer ce bilan de forces par un schéma, sans souci d'échelle mais cohérent avec la situation physique.

1.3. En utilisant les données, les informations du texte et les connaissances acquises, vérifier par un calcul que le ballon peut décoller.

1.4. Après quelques minutes d'ascension, le mouvement du système {ballon ; équipage} est considéré comme rectiligne uniforme. Déterminer alors la valeur de la force de frottement de l'air.

Partie 2 : saut de Félix Baumgartner
On étudie maintenant le système {Félix Baumgartner et son équipement} en chute verticale dans le référentiel terrestre considéré comme galiléen. On choisit un axe (Oz) vertical vers le haut dont l'origine O est prise au niveau du sol. Le système étudié, noté S, a une vitesse initiale nulle.
On négligera la poussée d'Archimède.

2.1. Utiliser l'étude du saut de Félix Baumgartner (courbe 1) afin de déterminer la valeur de son accélération si $t < 20$ s. Commenter le résultat obtenu.

2.2. Lors de son saut, Félix Baumgartner a-t-il atteint une vitesse supersonique ? Justifier.

2.3. Calculer la variation d'énergie mécanique ΔE_m entre le moment où Félix Baumgartner saute et le moment où il atteint sa vitesse maximale. Interpréter le résultat.

2.4. Les schémas ci-dessous représentent à trois instants les forces appliquées au système S lors du saut : le poids $\vec{P}$ et la force $\vec{f}$ modélisant les frottements. Affecter un schéma à chacune des dates : $t_1 = 40$ s, $t_2 = 50$ s et $t_3 = 60$ s.

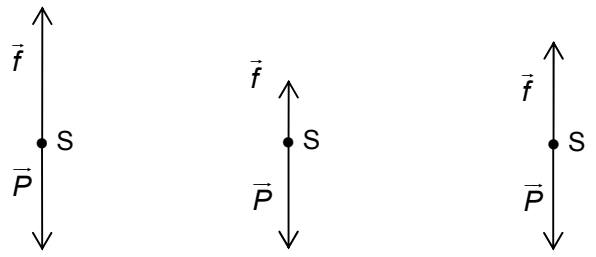


Schéma A Schéma B Schéma C

2.5. Déterminer l'altitude à laquelle Félix Baumgartner ouvre son parachute. En supposant que le système a un mouvement rectiligne et uniforme après l'ouverture du parachute et jusqu'à l'arrivée au sol, déterminer la valeur de la vitesse du système durant cette phase du mouvement. On rappelle que le saut a duré en totalité 9 min et 3 s.

2.6. Pour acquérir la même vitesse à l'arrivée au sol, de quel étage d'un immeuble Félix Baumgartner aurait-il dû sauter ? Commenter.

Le corrigé détaillé est sur galilee.ac
Page 4 / 10
Sujet officiel du baccalauréat · Ministère de l'Éducation nationale
Voir le corrigé
scanner ou cliquer

EXERCICE II - DE LA COMPOSITION D'UN SODA À SA CONSOMMATION (8,5 points)

Au XIX^{ème} siècle, une boisson à base de feuilles de coca et de noix de cola était préconisée par son inventeur comme remède contre les problèmes gastriques. Cette boisson est actuellement vendue comme soda.
Sur l'étiquette de cette boisson, on peut lire la liste d'ingrédients suivante : eau gazéifiée au dioxyde de carbone ; sucre ; colorant (caramel) ; conservateur (acide benzoïque) ; acidifiant (acide phosphorique) ; extraits végétaux ; arômes naturels (extraits végétaux dont caféine).

Dans cet exercice on s'intéresse à différentes espèces chimiques présentes dans la composition de cette boisson.

Données :

- pH de la boisson étudiée : 2,5 ;
- masse molaire de la caféine : M = 194,0 g.mol^{-1} ;
- numéros atomiques et masses molaires atomiques :

	H	C	N	O	P
Z	1	6	7	8	15
M (en g.mol^{-1})	1,0	12,0	14,0	16,0	31,0

- informations sur des réactifs et des produits de la synthèse de l'acide benzoïque :

Benzonitrile	Acide benzoïque	Hydroxyde de sodium
C_7H_5N M = 103,04 g.mol^{-1} T_{fusion} = - 12,8 °C $T_{ébullition}$ = 190,7 °C Masse volumique : ρ = 1,01 g.mL^{-1} Pictogramme de danger : 	$C_7H_6O_2$ M = 122,12 g.mol^{-1} T_{fusion} = 122,4 °C $T_{ébullition}$ = 249,9 °C $pK_A(C_7H_6O_2/C_7H_5O_2^-)$ = 4,2 Pictogramme de danger : 	NaOH M = 40,00 g.mol^{-1} T_{fusion} = 318 °C Pictogramme de danger : 

- la Dose Journalière Admissible (DJA) est la dose maximale d'une substance (exprimée en mg par kg de masse corporelle et par jour) à laquelle on peut être exposé de façon répétée sans risque pour la santé :

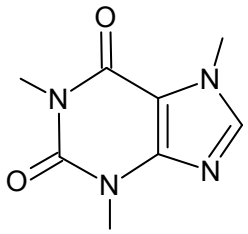
	Acide phosphorique	Acide benzoïque		Ion benzoate	Caféine
DJA adulte (mg.kg^{-1}.jour^{-1})	70	5			5
Solubilité dans l'eau (g.L^{-1})		à 0°C	à 25°C	à 25°C	
		1,7	3,4	650	

- pour un enfant de 30 kg, l'apport quotidien de caféine ne doit pas dépasser 75 mg, ce qui correspond environ à deux canettes de soda de 33 cL.

Le corrigé détaillé est sur galilee.ac
Page 5 / 10
Sujet officiel du baccalauréat · Ministère de l'Éducation nationale
Voir le corrigé scanner ou cliquer

1. La caféine

La formule topologique de la molécule de caféine est représentée ci-contre :



1.1. Recopier et compléter la formule topologique de la molécule de caféine en faisant figurer les doublets non liants.

1.2. Déterminer la formule brute de la caféine.

1.3. À l'aide des données fournies, évaluer la concentration molaire approximative de la caféine dans le soda.

2. L'acide benzoïque

L'acide benzoïque est un conservateur alimentaire souvent présent dans les sodas. Une méthode de synthèse de l'acide benzoïque peut s'effectuer en deux étapes au laboratoire.

- Étape (a) : obtention de l'ion benzoate à partir du benzonitrile

$$C_7H_5N(\ell) + H_2O(\ell) + HO^-(aq) \rightarrow C_7H_5O_2^-(aq) + NH_3(aq)$$

- Étape (b) : obtention de l'acide benzoïque par réaction de l'ion benzoate avec l'ion oxonium

$$C_7H_5O_2^-(aq) + H_3O^+(aq) \rightarrow C_7H_6O_2(s) + H_2O(\ell)$$

Le but de cette partie est d'analyser un protocole mis en œuvre pour effectuer cette synthèse au laboratoire ; la description des opérations successives figure ci-dessous.

① Dans un ballon de 100 mL, introduire un volume de 2,0 mL de benzonitrile, un volume de 24 mL d'une solution aqueuse d'hydroxyde de sodium à 100 $g.L^{-1}$ et quelques grains de pierre ponce.
② Adapter un réfrigérant à eau, puis porter à ébullition pendant plusieurs dizaines de minutes.
③ Une fois la réaction terminée, verser le contenu du ballon dans un bécher, puis le refroidir à l'aide d'un bain de glace.
④ Ajouter de l'acide chlorhydrique froid en excès.
⑤ Filtrer sur Büchner (penser à laver les cristaux avec une solution froide acidifiée).
⑥ Placer les cristaux à l'étuve (enceinte chauffante thermostatée) pendant une heure.
⑦ Peser le produit obtenu.

2.1. Dans l'opération ① peut-on remplacer la solution aqueuse d'hydroxyde de sodium par des pastilles d'hydroxyde de sodium solide pour réaliser la synthèse ? Justifier.

2.2. Quelles opérations correspondent à l'étape (a) de la synthèse de l'acide benzoïque ?

2.3. Donner deux raisons qui justifient l'utilisation du chauffage à reflux.

2.4. Donner les rôles de chacune des opérations ④, ⑤ et ⑥ décrites dans le protocole.

2.5. Quel critère doit on choisir pour régler une température de l'étuve adaptée à l'opération ⑥. Justifier votre choix.

2.6. Citer deux méthodes permettant de vérifier la nature du produit obtenu.

2.7. Quelle masse maximale d'acide benzoïque peut être obtenue par la mise en œuvre de ce protocole ?

2.8. L'étiquette sur la bouteille de soda indique la présence d'acide benzoïque comme conservateur. Est-ce bien sous cette forme que l'espèce prédomine dans cette boisson ? Justifier.

Le corrigé détaillé est sur galilee.ac
Page 6 / 10
Sujet officiel du baccalauréat · Ministère de l'Éducation nationale
Voir le corrigé scanner ou cliquer

3. L'acide phosphorique

Des études récentes laissent penser que l'acide phosphorique, H_3PO_4, contenu dans certains sodas au cola est responsable d'un accroissement des risques d'insuffisance rénale et d'ostéoporose s'il est consommé en quantités trop importantes.

Cette partie vise à évaluer la consommation maximale de soda sans que l'acide phosphorique présente un risque pour la santé.

Dosage de l'acide phosphorique dans le soda étudié

Pour déterminer la concentration en acide phosphorique dans le soda, on dégaze un volume V = 10,0 mL de soda afin d'éliminer le dioxyde de carbone dissous.

On réalise ensuite le titrage de la boisson dégazée par une solution aqueuse d'hydroxyde de sodium $\left(Na^+(aq)\,;\,HO^-(aq)\right)$ de concentration molaire $C = 1{,}0\times10^{-2}$ mol.L^{-1}. Le titrage est suivi par pH-métrie.

On donne ci-dessous les mesures effectuées lors de ce titrage, V étant le volume de solution d'hydroxyde de sodium versé :

V (mL)	0	1,0	2 ,0	3,0	4,0	5,0	6,0	7,0	8,0	9,0	10,0
pH	2,9	3,1	3,2	3,3	3,6	4,5	5,8	6,2	6,3	6,4	6,4

Dans cette partie, on admet que seul le couple $H_3PO_4(aq)/H_2PO_4^-(aq)$ intervient et que l'acide benzoïque étant en faible quantité, sa présence influe très peu sur le dosage de l'acide phosphorique.

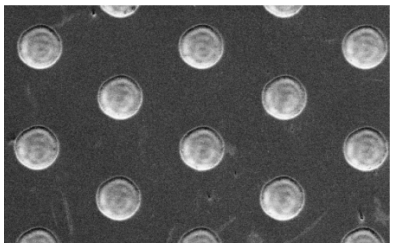
Combien de bouteilles de soda de 1,5 L une personne adulte peut-elle consommer par jour, sans que l'acide phosphorique ne présente un risque pour sa santé ?

Le candidat est invité à prendre des initiatives et à présenter la démarche suivie, même si elle n'a pas abouti. La démarche est évaluée et nécessite d'être correctement présentée.

Le corrigé détaillé est sur galilee.ac
Page 7 / 10
Sujet officiel du baccalauréat · Ministère de l'Éducation nationale
Voir le corrigé
scanner ou cliquer

EXERCICE III - MICRO-TEXTURATION DE SURFACE PAR UN LASER FEMTOSECONDE (5 points)

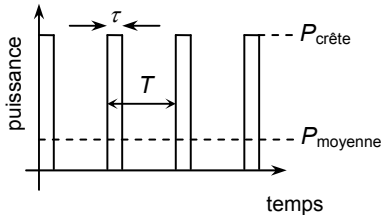
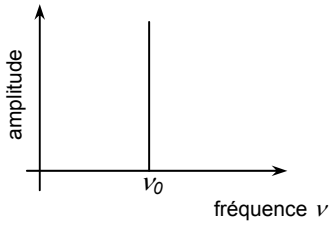
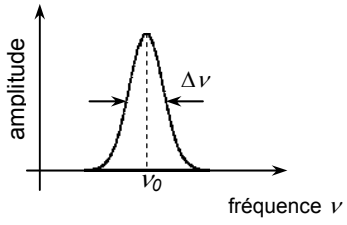
La micro-texturation de surface est une technologie qui permet d'optimiser la lubrification des pièces métalliques en contact, par exemple dans les moteurs employés dans les sports mécaniques (formule 1, moto grand prix, etc.). Cette micro-texturation est réalisée sur des matériaux appelés DLC (Diamond Like Carbon) déposés en fines couches sur les pièces à lubrifier. Grâce à l'utilisation d'un laser à impulsions ultra-brèves, on crée à la surface des pièces mécaniques un réseau de motifs (cavités, rainures, etc.) ayant des dimensions de quelques dizaines de micromètres qui se comportent comme des microréservoirs d'huile (après lubrification).



D'après *MAG'MAT* | N° 31 | Juillet - Décembre 2009

Les lasers pulsés

À la différence d'un laser conventionnel qui produit un rayonnement continu, les lasers pulsés émettent des flashs lumineux très brefs qu'on appelle des impulsions. La durée τ et la cadence (fréquence) f de ces impulsions sont réglables. Un laser pulsé est dit « femtoseconde » si la durée τ est de l'ordre d'une à quelques centaines de femtosecondes. Contrairement aux lasers continus qui produisent un rayonnement monochromatique, les lasers pulsés émettent un rayonnement polychromatique dans une bande de fréquence de largeur $\Delta\nu$ centrée sur une fréquence ν_0 (voir schéma). Les énergies des impulsions femtosecondes peuvent paraître faibles (de l'ordre du mJ à $f = 1$ kHz) mais leur brièveté fait que la puissance instantanée du laser durant une impulsion (puissance de crête) peut atteindre plusieurs gigawatts dans le domaine industriel.

	Laser continu	Laser pulsé de période de répétition T
Évolution de la puissance au cours du temps		
Spectre en fréquence		

Caractéristiques techniques d'un « laser femtoseconde » infrarouge

Fréquence centrale du rayonnement émis	$\nu_0 = 375$ 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	$\tau = 150$ fs
Puissance de crête atteinte durant une impulsion	$P_{crête} = 1{,}0$ GW
Diamètre de la section circulaire du faisceau	$D = 98$ µm

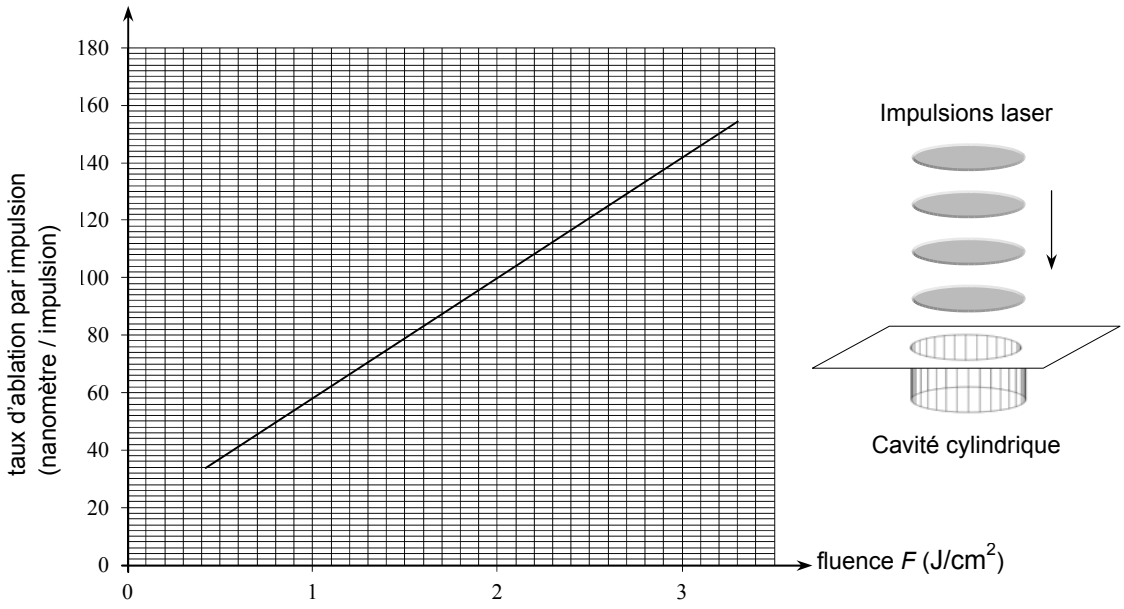
Le corrigé détaillé est sur galilee.ac
Page 8 / 10
Sujet officiel du baccalauréat · Ministère de l'Éducation nationale
Voir le corrigé scanner ou cliquer

Cavité de diamètre *D* et de profondeur *p* dans une couche de DLC

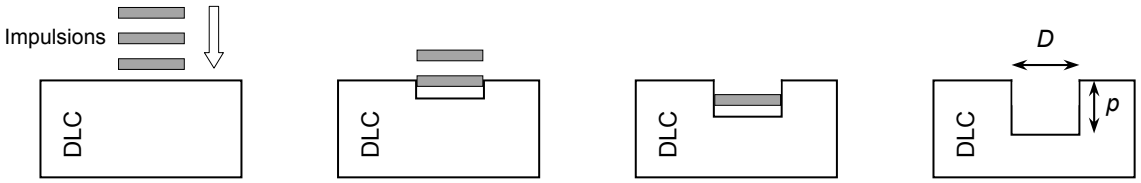
Lorsqu'on dirige un faisceau laser pulsé femtoseconde vers une surface recouverte de DLC, chaque impulsion laser apporte suffisamment d'énergie pour graver (creuser) une cavité cylindrique dans la couche de DLC.

On admet que le diamètre de la cavité gravée correspond au diamètre *D* du faisceau laser utilisé.

On a tracé ci-dessous la courbe donnant le taux d'ablation du DLC par impulsion, c'est-à-dire la profondeur de la cavité gravée par une seule impulsion laser, en fonction de la fluence *F* du laser utilisé. La fluence est obtenue en divisant l'énergie d'une impulsion laser (en J) par la surface circulaire gravée (en cm^2).



On admettra, comme le montre les schémas ci-dessous, que la profondeur totale *p* de la cavité gravée est proportionnelle au nombre d'impulsions reçues et donc à la durée Δt de la gravure.



Le corrigé détaillé est sur galilee.ac
Page 9 / 10
Sujet officiel du baccalauréat · Ministère de l'Éducation nationale
Voir le corrigé
scanner ou cliquer

Données :

- gamme de longueurs d'onde correspondant aux radiations visibles « rouges » : [620 nm - 780 nm] ;
- préfixes utilisés dans le système international d'unités :

Préfixe	tera	femto
Abréviation	T	f
Puissance de 10	10^{12}	10^{-15}

- la valeur de la célérité de la lumière dans le vide (ou dans l'air) doit être connue par le candidat ;
- constante de Planck : $h = 6{,}63 \times 10^{-34}$ J.s.

1. Domaine d'émission du laser femtoseconde

1.1. Le laser femto seconde présenté est dit « infrarouge ». Justifier.

1.2. Ce laser apparaît rouge à l'observateur. Justifier.

2. Caractéristiques d'une impulsion du laser femtoseconde

2.1. Montrer que l'énergie transportée par une seule impulsion du laser précédent est égale à 0,15 mJ.

2.2. Évaluer le nombre de photons produits par le laser durant une seule impulsion.

3. Gravure par le laser femtoseconde

On utilise le laser femtoseconde pour graver une cavité dans une couche de DLC.

Déterminer la fluence du laser étudié, puis la durée Δt nécessaire à la gravure d'une cavité circulaire cylindrique de 98 µm de diamètre et de 6 µm de profondeur.

Le candidat est invité à prendre des initiatives et à présenter la démarche suivie même si elle n'a pas abouti. La démarche suivie est évaluée et nécessite donc d'être correctement présentée.

Le corrigé détaillé est sur galilee.ac
Page 10 / 10
Sujet officiel du baccalauréat · Ministère de l'Éducation nationale
Voir le corrigé
scanner ou cliquer