

DIPLOME D'ETAT D'AUDIOPROTHESISTE

Contrôle des Aptitudes

31 août 2016

EPREUVE de PHYSIQUE (Coefficient 2)

Durée : **2 heures**

L'utilisation d'une calculatrice est autorisée.

La correction de cette épreuve tiendra compte non seulement des connaissances mais également du bon sens et du soin apportés à la rédaction des réponses et à la réalisation des schémas éventuels.

I – Ascension et pesanteur

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 39045 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. 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 m³, c'est-à-dire le double du nécessaire pour la sustentation. 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.

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.

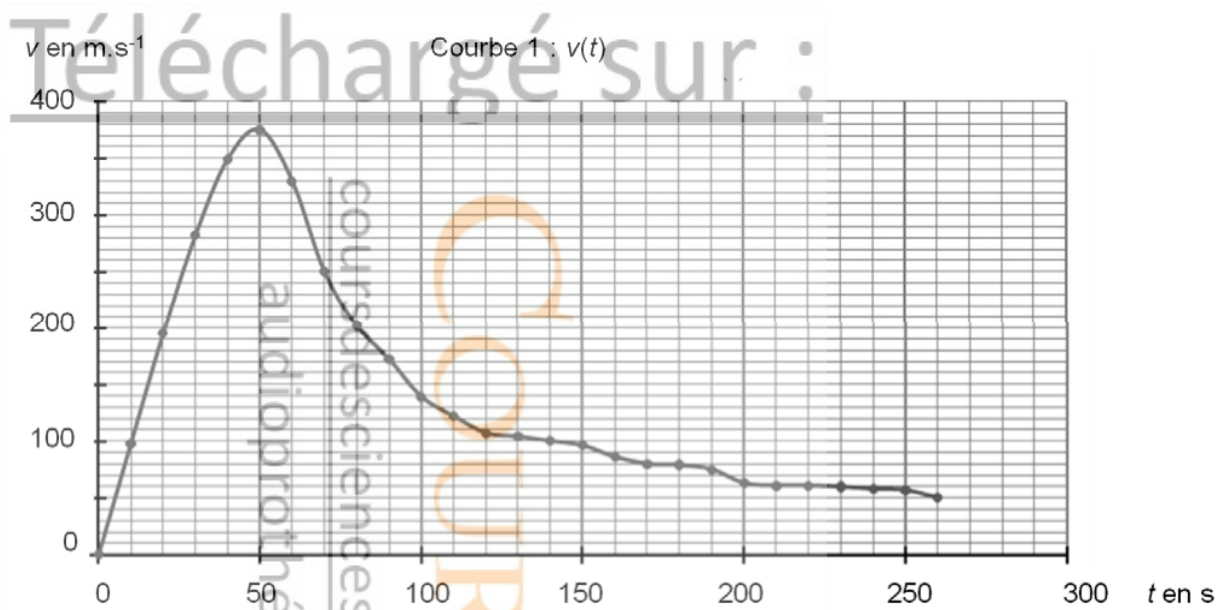


Figure n°1 : Evolution temporelle de la vitesse v de Félix Baumgartner, dans le référentiel terrestre, jusqu'à l'ouverture du parachute

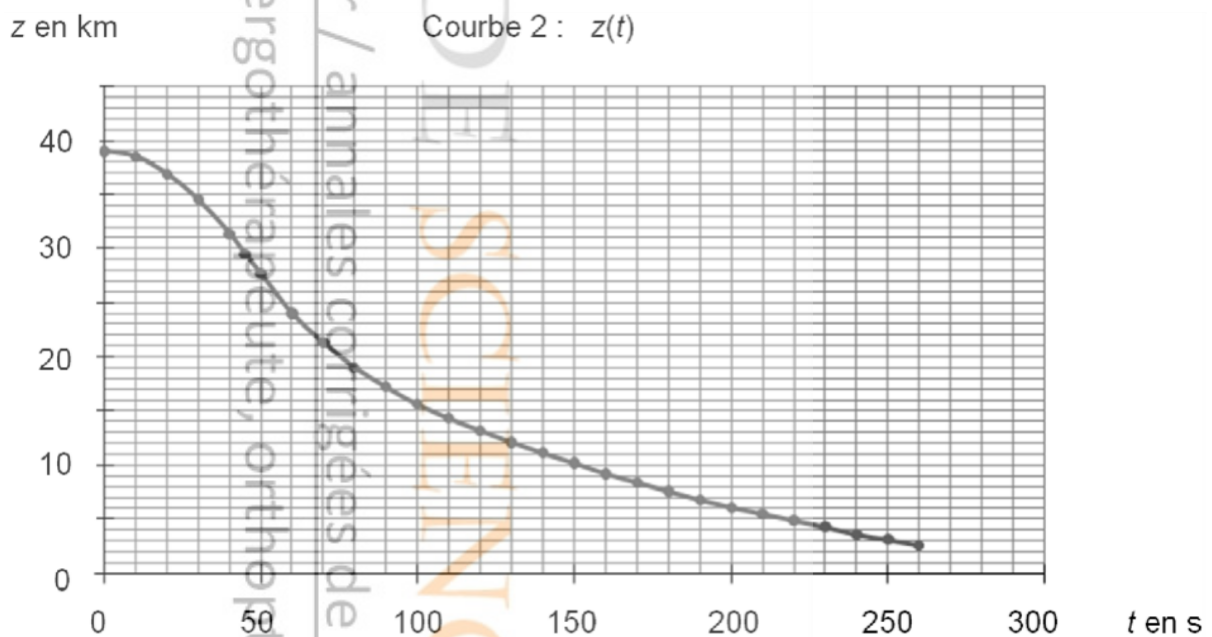


Figure n°2 : Evolution temporelle de l'altitude z par rapport au sol de Félix Baumgartner, jusqu'à l'ouverture du parachute

Données :

- L'expression de la poussée d'Archimède exercée par l'air sur un corps est la suivante : $\vec{F}_A = \rho_{\text{air}} \cdot V \cdot g \cdot \vec{u}_z$ avec \vec{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.

Téléchargé sur :

- L'intensité du champ de pesanteur est considérée comme constante entre le niveau de la mer et l'altitude de 39 km : $g = 9,8 \text{ m.s}^{-2}$
- 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 $0,015 \text{ kg.m}^{-3}$, celle de la troposphère au niveau du sol est $1,22 \text{ kg.m}^{-3}$
- 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)	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.

Partie 1 : ascension en ballon sonde de Félix Baumgartner

Le volume de l'équipage est négligeable par rapport au volume du ballon.

1. Indiquer la force qui est responsable de l'ascension du ballon.
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.
3. En utilisant les données, les informations du texte et les connaissances acquises, vérifier par un calcul que le ballon peut décoller.
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.

5. Utiliser l'étude du saut de Félix Baumgartner (courbe 1 de la figure n°1) afin de déterminer la valeur de son accélération si $t < 20 \text{ s}$. Commenter le résultat obtenu.

- Lors de son saut, Félix Baumgartner a-t-il atteint une vitesse supersonique ? Justifier.
- 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.
- Les schémas de la figure n°3 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, $t_3=60$ s

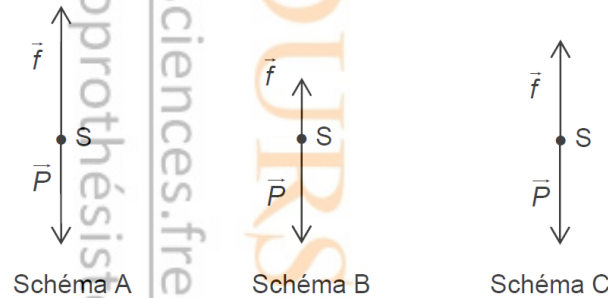


Figure n°3 : Forces appliquées au système S lors du saut

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

II – Ondes mécaniques

La houle est un train de vagues régulier généré par un vent soufflant sur une grande étendue de mer sans obstacle, le fetch. En arrivant près du rivage, sous certaines conditions, la houle déferle au grand bonheur des surfeurs.

Donnée : intensité de la pesanteur : $g = 9,8 \text{ m.s}^{-2}$.

Partie 1. La houle, onde mécanique progressive

- Pourquoi peut-on dire que la houle est une onde mécanique progressive ?
- Il est possible de simuler la houle au laboratoire de physique avec une cuve à ondes en utilisant une lame vibrante qui crée à la surface de l'eau une onde progressive sinusoïdale de fréquence $f = 23$ Hz. On réalise une photographie du phénomène

observé (voir figure n°4). Déterminer, en expliquant la méthode utilisée, la vitesse de propagation v de l'onde sinusoïdale générée par le vibreur.

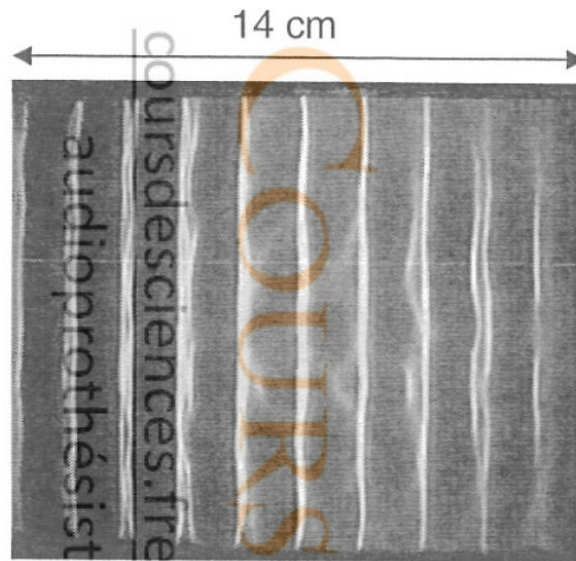


Figure n°4 : Simulation de la houle au laboratoire avec une cuve à ondes

3. Au large de la pointe bretonne, à une profondeur de 3000 m, la houle s'est formée avec une longueur d'onde de 60 m. En utilisant les données qui suivent, calculer la vitesse de propagation v_1 de cette houle. En déduire sa période T .

Données : Vitesse de propagation des ondes à la surface de l'eau.

- Cas des ondes dites « courtes » (en eau profonde) : longueur d'onde λ faible devant la profondeur h de l'océan ($\lambda < 0,5 h$)

$$v = \sqrt{\frac{g \cdot \lambda}{2\pi}}$$

- Cas des ondes dites « longues » (eau peu profonde) : longueur d'onde λ très grande devant la profondeur h de l'océan ($\lambda > 10 h$)

$$v = \sqrt{g \cdot h}$$

4. Arrivée de la houle dans une baie.
 - a. Sur la photographie aérienne de la figure n°5, quel phénomène peut-on observer ? Quelle est la condition nécessaire à son apparition ?

Un surfeur consulte au préalable un site internet qui lui donne toutes les prévisions concernant le vent, la houle et les horaires des marées (voir Figure n° 6).

Proposer, en justifiant, un créneau favorable à la pratique du surf entre le jeudi 21 et le samedi 23 juin 2012.

GFS	Je	Je	Je	Je	Je	Je	Ve	Ve	Ve	Ve	Ve	Ve	Sa	Sa	Sa	Sa	Sa	Sa
19.06.2012	21	21	21	21	21	21	22	22	22	22	22	22	23	23	23	23	23	23
00 UTC	05h	08h	11h	14h	17h	20h	05h	08h	11h	14h	17h	20h	05h	08h	11h	14h	17h	20h
Vitesse du vent (nœuds)	4	7	16	23	21	21	17	15	15	15	15	12	10	10	10	13	14	15
Rafales (nœuds)	5	10	25	28	28	28	23	21	18	19	18	15	13	13	12	15	18	21
Direction du vent	↗	↗	↑	↘	↘	↘	↘	↘	↘	↘	↘	↘	↘	↘	↘	↘	↘	↘
Vagues (m)	0,7	0,7	0,9	1,3	1,7	2,1	2,6	2,6	2,6	2,4	2,3	2,2	1,8	1,7	1,6	1,5	1,4	1,3
Période des vagues (s)	6	7	4	6	6	6	7	8	8	8	8	8	8	7	7	7	7	7
Direction des vagues	→	→	↗	↗	↗	↗	↗	↗	↗	↗	↗	↗	→	→	→	→	→	→
*Température (°C)	13	14	14	14	15	14	14	14	15	15	15	14	13	14	15	16	16	15




Tableau des marées – Juin 2012

Jour	Pleine mer (h:min)		Basse mer (h:min)	
Jeudi 21 juin	06:54	19:08	00:58	13:10
Vendredi 22 juin	07:31	19:44	01:34	13:46
Samedi 23 juin	08:08	20:22	02:10	14:24
Dimanche 24 juin	08:47	21:02	02:49	15:04

Figure n° 6 : Prévisions concernant le vent, la houle et les horaires des marées

- Un autre phénomène très attendu par les surfeurs, lors des marées importantes est le mascaret. Le mascaret est une onde de marée qui remonte un fleuve. Cette onde se propage à une vitesse v de l'ordre de 5, 1 m/s. Le passage du mascaret étant observé sur la commune d'Arcins à 17h58, à quelle heure arrivera-t-il à un endroit situé à une distance $d = 13$ km en amont du fleuve ?

III – Niveau sonore

On définit le niveau sonore en décibel (dB) d'une source sonore comme suit :

$$L = 20 \cdot \log \left(\frac{p_{\text{eff}}}{p_0} \right)$$

Avec $p_0 = 2 \cdot 10^{-5}$ Pa : pression acoustique efficace de référence correspondant à la pression acoustique minimale audible,

p_{eff} : pression acoustique efficace de la source en Pa.

- Téléchargé sur :
1. Le niveau sonore de la parole en décibel est de 60 dB à 1m. A quelle pression acoustique efficace ce niveau sonore correspond-il ?
 2. On estime que le seuil de la douleur au niveau du tympan correspond à une pression acoustique efficace de 20 Pa. A quel niveau sonore ce seuil correspond-il ?
 3. De combien augmente le niveau en décibel quand la pression acoustique efficace double ?
 4. La figure 7 représente la variation temporelle de la pression acoustique en un point donné. Cette variation caractérise une onde acoustique sinusoïdale qui se propage.
 - a. Déterminer, pour cette onde sinusoïdale, la période T , la fréquence f et la longueur d'onde λ . La vitesse de propagation d'une onde sonore (célérité) est $c = 340$ m/s.
 - b. Calculer le niveau sonore en décibel de l'onde acoustique sinusoïdale

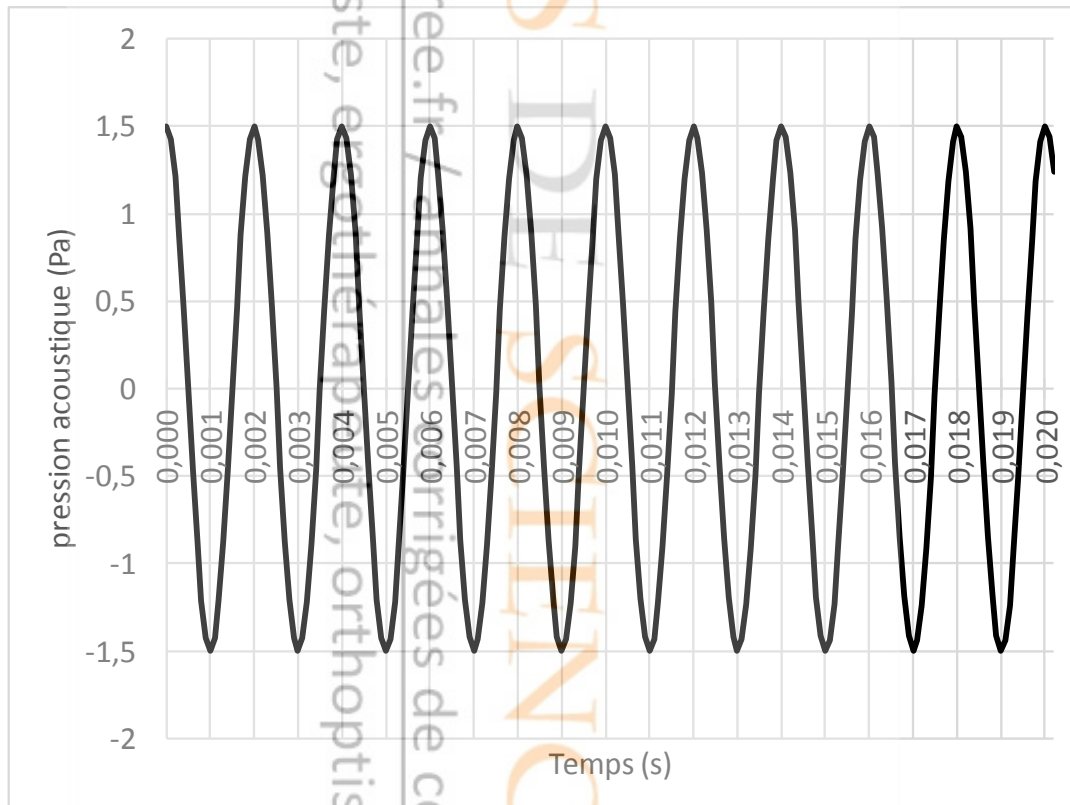


Figure n°7 : Représentation temporelle d'une variation de pression acoustique sinusoïdale

IV– Oscillations mécaniques

Un oscillateur est matérialisé par un mobile autoporteur de masse $m = 50,5$ g assimilé à une masse ponctuelle ramenée au centre d'inertie G et liée à un ressort de masse négligeable. On négligera toutes forces de frottement. Sur l'axe des x , l'allongement du ressort est nul à

Téléchargé sur :

l'origine $x = 0$ (position d'équilibre). On tire le mobile vers la droite d'une longueur $x = x_0 = 27 \text{ mm}$, puis on le lâche sans vitesse initiale (voir figure n°8).

A l'aide d'un dispositif non décrit ici, on enregistre l'élongation x (en mm) représenté sur la figure n°9, et la vitesse v (en mm.s^{-1}) représentée sur la figure n°10.

1. Quel est la nature du régime d'oscillation ? Justifier,
2. A l'aide du graphe de la figure n°9, déterminer la valeur de la période propre T_0 de l'oscillateur,
3. Après avoir fait le bilan des forces, montrer que l'équation différentielle caractéristique du mouvement de G est :

$$\frac{d^2x}{dt^2} + \frac{k}{m}x = 0 \text{ avec } k : \text{ la constante de raideur du ressort}$$

4. On donne une solution à cette équation : $x(t) = X_m \cos\left(\frac{2\pi}{T_0}t + \varphi\right)$.

A l'aide de l'équation différentielle et de la question 2., en déduire la valeur de la constante de raideur,

5. A l'aide des figures n°9 et n°10, trouver les valeurs de X_m et de φ . Donner la relation numérique de $x(t)$ puis de $v(t)$ à tout instant t ,
6. Recopier et compléter le tableau suivant (en utilisant les expressions de la question 5. et les figures n°9 et n°10). Conclure sur la valeur de l'énergie mécanique E_m .

t(s)	0	$T_0/4$	0,5	$T_0/2$
x (m)				
E_p (J)				
v (m.s^{-1})				
E_c (J)				
E_m (J)				

Avec E_c : énergie cinétique et E_p énergie potentielle élastique.

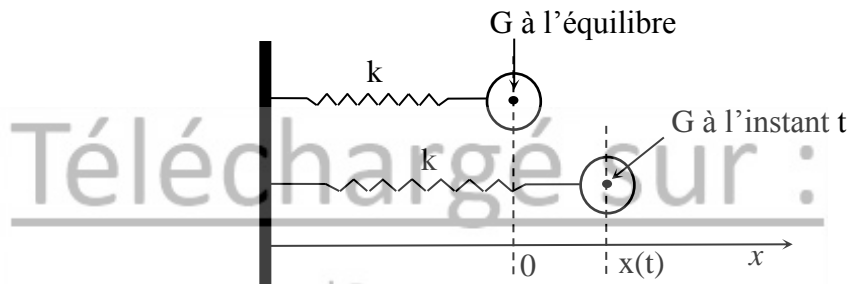


Figure n°8 : Oscillateur mécanique

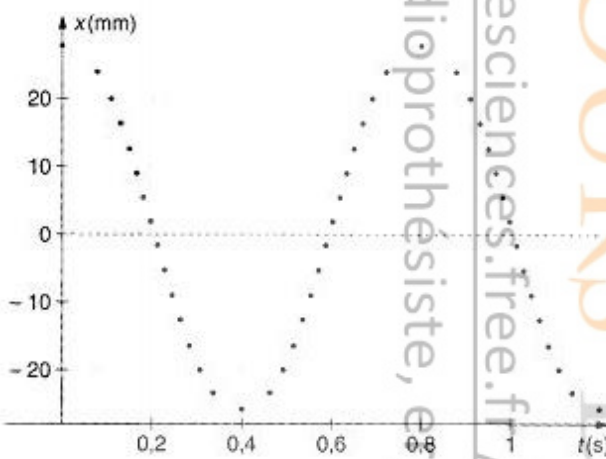


Figure n°9 : Elongation $x(t)$

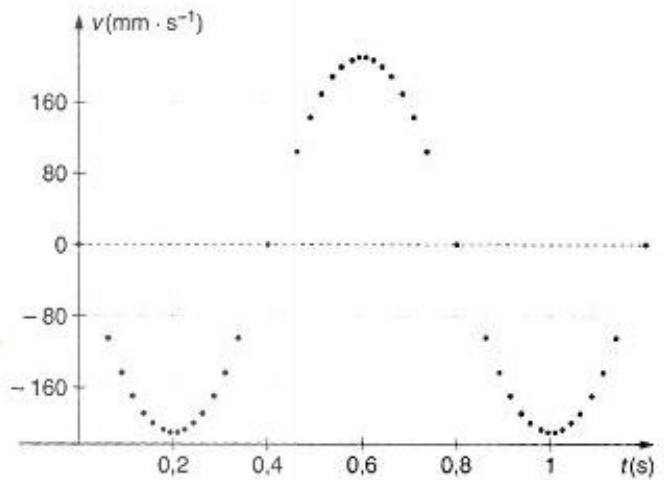


Figure n°10 : Vitesse $v(t)$

V - Transmettre et stocker l'information

Les fibres optiques constituent un élément essentiel de la révolution des télécommunications : c'est par ce moyen que circulent plus de 80 % des informations du trafic mondial longue distance.

1. Rappeler une propriété d'un faisceau laser en montrant que celle-ci justifie l'usage de ce type de rayonnement électromagnétique pour la transmission d'information par fibre optique.
2. En utilisant le **document 3**, choisir une longueur d'onde à privilégier pour une bonne transmission du signal.
3. Le débit disponible pour ce dispositif de transmission a une valeur moyenne de $100 \text{ Mbit} \cdot \text{s}^{-1}$

Téléchargé sur :

- a. Évaluer le temps de transfert d'un fichier de 50 Mo.
 - b. On souhaite recevoir un film vidéo noir et blanc de 25 images par seconde. Ces images sont constituées de 600×450 pixels, le codage de l'image est de 24 bits par pixel. La transmission peut-elle être assurée dans de bonnes conditions ?
4. Un prestataire de service installe un réseau dans une petite ville. Il utilise de la fibre optique en silice. La longueur maximale de fibre qu'il doit utiliser pour desservir tous ses clients a pour valeur $L = 10,0$ km.
- La longueur d'onde du rayonnement émis par le laser utilisé est égale à 850 nm. On admet que le signal de sortie est exploitable tant que sa puissance P_{sortie} est supérieure à 1 % de la puissance $P_{\text{entrée}}$ du signal entrant. À l'aide des documents fournis, dire en justifiant si tous les clients bénéficient de signaux satisfaisants sans amplification optique intermédiaire.

Document. 1 Quelques données

- L'atténuation en décibels d'un signal de puissance P à travers une chaîne de transmission est :

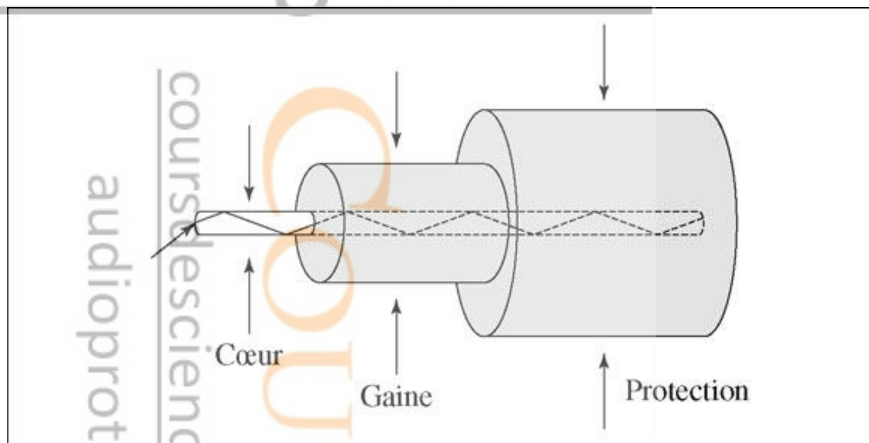
$$A_{\text{dB}} = 10 \log \left(\frac{P_{\text{entrée}}}{P_{\text{sortie}}} \right)$$

- Pour une fibre optique de longueur L , on définit le coefficient d'atténuation en dB/km par :

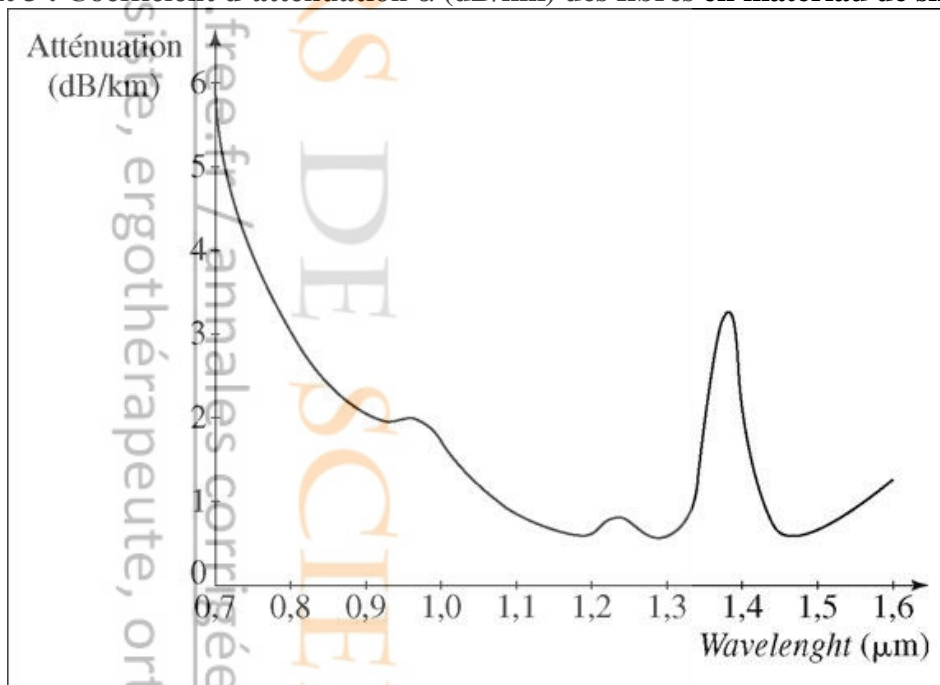
$$\alpha = \frac{A_{\text{dB}}}{L}$$

- 1 Tbit (téra-bit) = 10^{12} bits.
- 1 octet = 8 bits ; 1 Mo (méga-octet) = 2^{20} octets.

Document 2 : Transmission de la lumière dans une fibre à saut d'indice



Document 3 : Coefficient d'atténuation α (dB/km) des fibres en matériau de silice



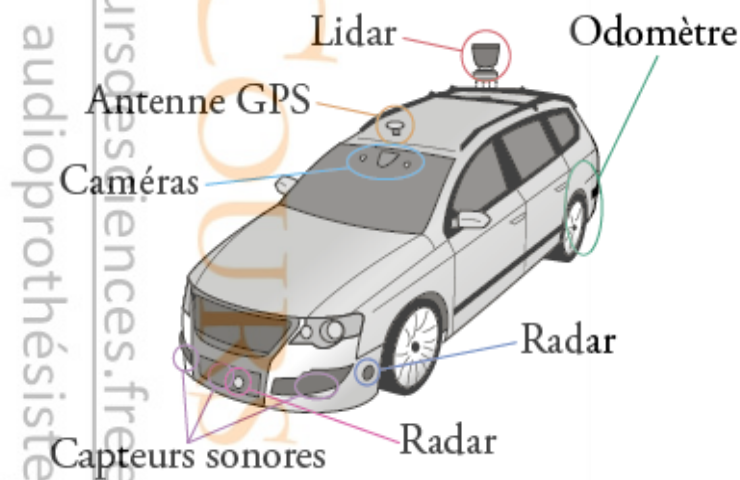
VI – Les ondes au service de la voiture du futur

« Sans les mains ! C'est de cette manière que vous pourrez, peut-être très bientôt, conduire votre prochaine voiture... » Cette phrase évoque ici la voiture autonome dont la commercialisation sera lancée aux alentours de 2020. Cette voiture « se conduira seule », car elle aura une perception globale de son environnement grâce à la contribution de plusieurs capteurs : télémètre laser à balayage (LIDAR*), caméra, capteurs à infrarouge, radars, capteurs laser, capteurs à ultrasons, antenne GPS...

Téléchargé sur :

Un odomètre mesure la distance parcourue par la voiture.

*LIDAR = Light Detection And Ranging



L'objectif de cet exercice est d'étudier quelques capteurs présents dans une voiture autonome.

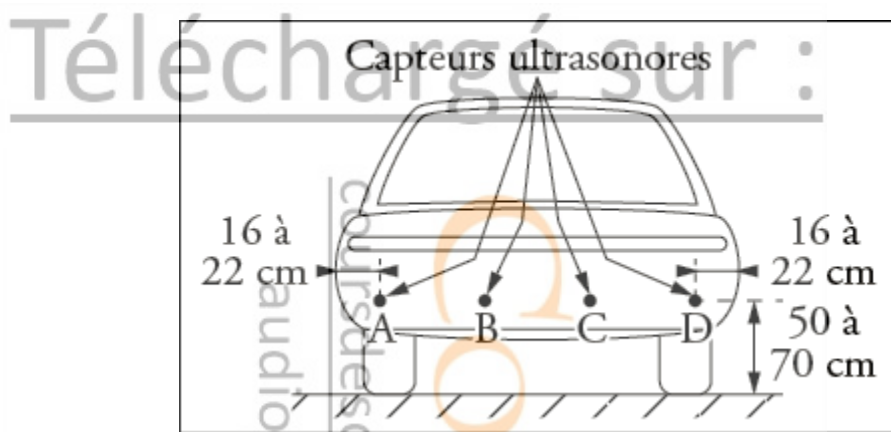
Document 1 : Principe de fonctionnement des capteurs

Les radars, capteurs ultrasonores et lasers sont tous constitués d'un émetteur qui génère une onde pouvant se réfléchir sur un obstacle et d'un capteur qui détecte l'onde réfléchi. Le capteur permet de mesurer la durée entre l'émission et la réception de l'onde après réflexion sur l'obstacle.

Le radar utilise des ondes radio. Le sonar utilise des ultrasons tandis que le laser d'un LIDAR émet des impulsions allant de l'ultraviolet à l'infrarouge.

Document 2 : Extrait d'une notice de « radar de recul » (aide au stationnement)

- En marche arrière le « radar de recul » se met en fonction automatiquement.
- L'afficheur indique la distance de l'obstacle détecté pour des valeurs comprises entre 0,3 m et 2 m.
- L'afficheur dispose d'un buzzer intégré qui émet un signal sonore dont la fréquence évolue en fonction de la distance à l'obstacle.



Document 3 : Extrait d'un document d'un constructeur automobile

Système autonome de régulation de vitesse ACC

Le système ACC traite les informations d'un capteur radar afin d'adapter la vitesse de la voiture en fonction des véhicules qui la précèdent. Les caractéristiques du capteur radar d'un système ACC sont données ci-dessous.

Fonctionnalité	Détermine la distance, la vitesse et la direction d'objets mobiles roulant devant le véhicule
Fréquence d'émission	76 – 77 GHz
Portée minimale - Portée maximale	1 m – 120 m
Activation du capteur	vitesse > 20 km · h ⁻¹

Données :

- Célérité du son dans l'air à 20 °C : $v = 343 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$.
- Célérité de la lumière dans le vide ou dans l'air : $c = 3,0 \times 10^8 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$.

1. Propriétés de quelques capteurs présents dans la voiture autonome

1. Compléter le tableau de l'annexe (à détacher et à insérer dans la copie) en précisant pour chaque capteur le type d'ondes utilisées.
2. À l'aide du tableau n°2, déterminer le nom de la bande d'ondes radio utilisées par le capteur radar de l'ACC. Justifier votre réponse à l'aide d'un calcul.

Nom de bande d'ondes radio	Longueurs d'onde dans le vide
HF	10 m – 100 m
L	15 cm – 30 cm
W	2,7 mm - 4,0 mm

Tableau n°2 : Longueurs d'onde

3. La vitesse relative (différence de vitesse) entre la voiture équipée du système ACC et un objet peut être calculée par le biais de l'effet Doppler. Recopier en les complétant les deux phrases suivantes :

Si l'objet se rapproche de l'émetteur, la fréquence de l'onde réfléchié

Si l'objet s'éloigne de l'émetteur, la fréquence de l'onde réfléchié

2. Plage de détection d'un obstacle pour le « radar de recul »

Ce « radar de recul » est composé de quatre capteurs ultrasonores identiques. Chacun de ces capteurs a une portée minimale $d_{\min} = 0,30$ m d'après la notice. Cela signifie qu'un obstacle situé à une distance du capteur inférieure à d_{\min} ne sera pas détecté.

Le capteur est constitué d'un matériau piézo-électrique utilisé à la fois pour fonctionner en mode émetteur ou en mode récepteur. Il ne peut fonctionner correctement en récepteur que lorsqu'il a fini de fonctionner en émetteur. Pour cette raison, le capteur génère des salves ultrasonores de durée $\Delta t_1 = 1,7$ ms avec une périodicité $\Delta t_2 = 12$ ms. La figure n°11 illustre ce fonctionnement.

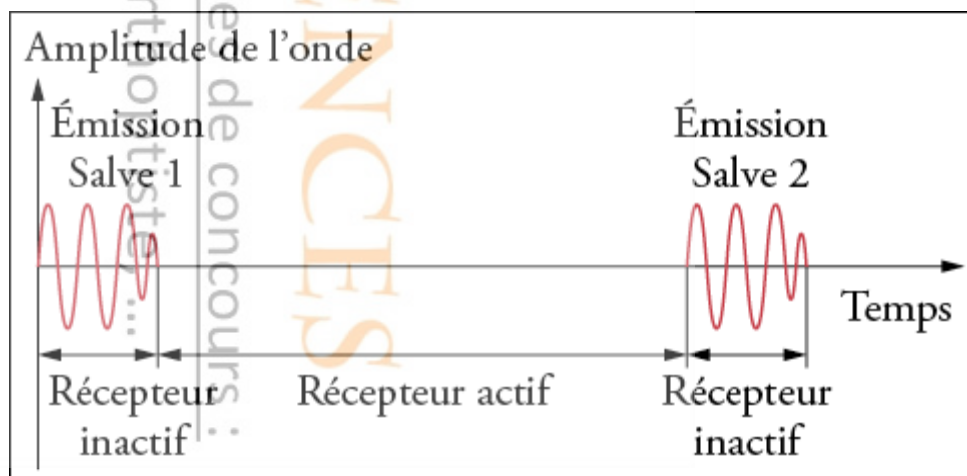


Figure n°11 : Emission et réception des salves

4. Recopier et légènder la figure n°11 en indiquant les durées Δt_1 et Δt_2 .

Téléchargé sur :

5. Faire un schéma représentant un capteur détectant un obstacle et y faire apparaître sa portée minimale d_{\min} et sa portée maximale d_{\max} en précisant leurs valeurs.
6. Vérifier que pour la distance d_{\min} entre le capteur et l'obstacle, la durée entre l'émission et la réception est égale à Δt_1 .
7. Si la durée que met l'onde émise pour revenir au capteur est inférieure à Δt_1 , pourquoi le capteur ne peut-il pas détecter l'obstacle de manière satisfaisante? Justifier la réponse.
8. Quelle caractéristique du signal de l'émission doit-on alors modifier pour que le capteur puisse détecter un obstacle situé à une distance inférieure à d_{\min} ? Justifier votre réponse.
9. Montrer que la valeur de la portée maximale de ce capteur est liée essentiellement à une des caractéristiques du signal émis.

3. Répondre de façon argumentée

Les radars, les capteurs ultrasonores et les capteurs lasers permettent avec des similitudes dans leur principe de fonctionnement de détecter un obstacle. Pourquoi ne pas utiliser alors un seul de ces trois types de capteurs dans un projet de voiture autonome ?

On rédigera une réponse argumentée en s'appuyant sur des informations tirées des différents documents utilisés, y compris le tableau de l'annexe.

Annexe à détacher et à insérer dans la copie même non complétée.

Tableau à compléter

Capteur	Type d'onde utilisée par le capteur : mécanique / électromagnétique	Points forts	Points faibles
Radar	Longue portée, robustesse face aux conditions météorologiques, bonne performance de détection.	Pollution électromagnétique, coût relativement élevé, encombrement, interférences électromagnétiques.
Capteurs à ultrasons	Réalisation simple, coût abordable traitement simple des données.	Précision de détection sujette à la température, sensibilité aux conditions météorologiques.
Capteur laser (LIDAR)	Longue portée, grande précision, bonne résolution, coût accessible.	Dérèglements fréquents, grande sensibilité aux conditions météorologiques, interférences.