ROYAUME DU MAROC
المملكة المغربية

Ministère de l'Enseignement Supérieur,
de la Formation des Cadres et de la Recherche Scientifique

Présidence du Concours National Commun 2015
Ecole Nationale Supérieure d'Electricité et de Mécanique

ENSEM

CONCOURS NATIONAL COMMUN

d'Admission dans les Établissements de Formation

d'Ingénieurs et Établissements Assimilés

Edition 2015

ÉPREUVE DE PHYSIQUE I

Filière **PSI**

Durée **4** heures

Cette épreuve comporte 9 pages au format A4, en plus de cette page de garde
L'usage de la calculatrice est *autorisé.*

• On veillera à une présentation et une rédaction claires et soignées des copies. Il convient en particulier de rappeler avec précision les $\boxed{\text{références}}$ des questions abordées.

• Si, au cours de l'épreuve, un candidat repère ce qui lui semble être une erreur d'énoncé, il le signale sur sa copie et poursuit sa composition en indiquant clairement les raisons des initiatives qu'il est amené à prendre.

• Toutes les réponses devront être très soigneusement justifiées.

• Si un résultat donné par l'énoncé est non démontré, il peut néanmoins être admis pour les questions suivantes. Ainsi, les diverses parties du problème sont relativement indépendantes entre elles.

QUELQUES ASPECTS SUR L'UTILISATION DE VÉHICULES AUTOMOBILES

Cette épreuve est formée de plusieurs parties largement indépendantes. Son objet est d'étudier quelques aspects relatifs à l'utilisation des véhicules automobiles. La première partie aborde le fonctionnement thermodynamique du moteur d'une voiture. La deuxième et la troisième parties abordent des aspects mécaniques du mouvement d'une voiture automobile ainsi que quelques aspects relatifs au fléau des accidents de la route. Les causes des accidents relèvent de l'état des véhicules, de l'état des routes, mais aussi en grande partie de l'erreur humaine. Il s'agit en particulier du non respect des recommandations de la sécurité routière : usage des ceintures et airbags de sécurité, respect de la distance réglementaire entre véhicules ; mais aussi d'éviter l'excès de vitesse. Enfin la quatrième partie étudie l'utilisation d'un "radar" de recul pour faciliter la manœuvre d'une marche arrière.

Données :

- Tous les gaz considérés sont supposés parfaits.
- La constante des gaz parfaits : $R = 8{,}31\ SI$.
- La correspondance des températures : $T(K) = \text{t}°\ (C) + 273$.
- Le rapport des capacités thermiques molaires de l'air, à pression constante (C_p) et à volume constant (C_v) : $\gamma_a = \dfrac{C_p}{C_v} = 1,4$.
- La relation de Mayer : $C_p - C_v = R$.
- La masse molaire de l'air : $M_a = 29\ g.mol^{-1}$.
- Le champ de pesanteur uniforme : $g = 9{,}8\ m.s^{-2}$.

1 Étude thermodynamique d'un moteur de voiture

On étudie un moteur à explosion d'automobile (à quatre temps). Dans l'un des quatre cylindres, on considère une quantité de matière formée de n moles d'un fluide et qui décrit le cycle de Beau de Rochas (ou d'Otto) entre les états notés A, B, C et D de façon supposée réversible :

- AB : compression adiabatique,
- BC : échauffement isochore,
- CD : détente adiabatique,
- DA : refroidissement isochore.

Les grandeurs : pression, température, volume et entropie sont notées respectivement P, T, V et S. On appelle rapport volumétrique la quantité $x = \dfrac{V_A}{V_B}$. On note par T_m la température maximale atteinte au cours du cycle.

Pour le fluide air-carburant, l'air étant en grand excès, on assimilera le mélange qui décrit le cycle ABCDA à un gaz parfait unique, de coefficient $\gamma = \dfrac{C_p}{C_v} = \gamma_a$.

1.1. Représentation du cycle

1.1.1. Représenter l'allure du cycle ABCDA dans un diagramme de Watt (P : ordonnée, V : abscisse). Interpréter le sens de parcours et la signification de l'aire délimitée par le cycle.

1.1.2. Pour chacune des transformations, déterminer l'allure de T(S) et tracer le cycle ABCDA dans le diagramme (T, S).

1.2. Expression du rendement

1.2.1. Soient Q_F et Q_C les chaleurs reçues, lors d'un cycle, par le système de la source froide et de la source chaude respectivement. Préciser les signes de ces deux grandeurs. Donner l'expression du rendement r en fonction de Q_F et Q_C.

1.2.2. Déterminer, pour chacune des transformations précédentes, les expressions du travail et chaleur reçus par le fluide.

1.2.3. Exprimer le rendement r du moteur en fonction de x et γ. Comment varie ce rendement avec x ?

1.3. Calcul du rendement

Le piston d'un cylindre a une section S= 50 cm^2 et une course utile de l = 7,5 cm (entre les points haut et bas). Le volume emprisonné en fin de compression est de 45 cm^3. A l'admission, on donne : t_A = 77°C et $P_A = 1,0.10^5\ Pa$.

La voiture roule à la vitesse constante $v = 90\ km.h^{-1}$ et le tableau de bord indique que le moteur fait N = 2800 $tours.min^{-1}$. Dans ces conditions la voiture consomme v_c =5 L/100 km. Le carburant a pour masse volumique $\rho = 720\ kg.m^{-3}$ et sa combustion dégage une chaleur $q = 4,82.10^4\ kJ.kg^{-1}$.

1.3.1. Calculer le rendement r du moteur.

1.3.2. Sachant qu'un cycle se fait en deux tours, déterminer la durée d'un cycle τ_c.

1.3.3. Déterminer l'expression de la chaleur reçue pendant un cycle dans un cylindre par la combustion du carburant. Faire l'application numérique.

1.3.4. Déterminer l'expression, puis la valeur de la température (théorique) T_m.

1.3.5. Quelle serait l'expression du rendement de ce moteur si le fluide décrivait un cycle de Carnot entre les mêmes températures extrêmes.

1.3.6. Calculer la puissance mécanique P_{mca} développée par le moteur.

2 Étude du mouvement d'une voiture

Pour étudier le mouvement d'une voiture on peut la modéliser, sommairement, comme un système (Σ) formé d'un ensemble de solides : $(\Sigma) = (S_0) \cup (S_1) \cup (S_2) \cup (S_3) \cup (S_4)$ (Figure 1).

(S_0) : représente la carrosserie schématisée comme un solide de forme parallélépipédique et de masse M.

(S_i) $(1 \leq i \leq 4)$: représente la roue i, les quatre roues de la voiture sont supposées toutes identiques. Chaque roue (S_i) est assimilée à un cylindre solide homogène de rayon r= 0,3 m, de centre G_i, de masse m = 18 kg et de moment d'inertie autour de l'axe du cylindre Δ_{G_i} : $J = \frac{1}{2}mr^2$.

La masse totale de la voiture avec sa charge (passagers et bagages) est $M' = 1400kg$. Son centre de masse est noté G.

Tous les mouvements sont étudiés par rapport au référentiel $\Re$(OXYZ) galiléen lié au sol et muni de la base cartésienne $\{\overrightarrow{u}_x, \overrightarrow{u}_y, \overrightarrow{u}_z\}$. On négligera la résistance de l'air. Les liaisons roues-carrosserie sont parfaites.

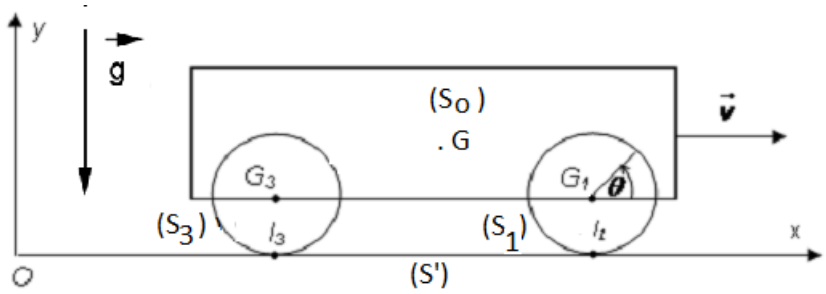

Figure 1

2.1. Préliminaire

2.1.1. On considère l'une des roues (S_i). Exprimer le vecteur position $\overrightarrow{OG_i}$ et le vecteur vitesse $\overrightarrow{v}_i$ du barycentre G_i dans la base cartésienne (Figure 1).

2.1.2. Donner l'expression du vecteur vitesse de glissement $\overrightarrow{v}_g$ du solide (S_i) par rapport au sol noté (S').

Soit $\overrightarrow{\omega} = \omega \overrightarrow{u}_z$ le vecteur rotation de la roue ($\omega = \frac{d\theta}{dt}$). On suppose que la roue roule sans glisser sur le sol.

2.1.3. Donner alors la relation entre la vitesse linéaire v_i et la vitesse de rotation ω.

2.1.4. Déterminer l'expression de l'énergie cinétique de la voiture (Σ) par rapport au référentiel $\Re$ en fonction de m, M' et v_i.

2.2. On s'intéresse maintenant au mouvement de la voiture, lors duquel son barycentre G se déplace dans le plan vertical OXY avec une vitesse $\overrightarrow{v} = v\overrightarrow{u}_x$ et une accélération $\overrightarrow{a} = a\overrightarrow{u}_x$. Les roues avant (1) et (2) sont motrices.

On suppose que le sol exerce sur la roue (S_i) la réaction $\overrightarrow{R}_i = T_i\overrightarrow{u}_T + N_i\overrightarrow{u}_N$

- $T_i\overrightarrow{u}_T$: est la force de frottement de glissement.
- $N_i\overrightarrow{u}_N$: est la réaction normale.

On désigne par f le coefficient de frottement roue-sol (on confondra coefficient statique et coefficient dynamique). Dans la suite, on supposera que les roues roulent sans glisser sur le sol sauf lors du freinage.

2.2.1. La figure 2 donne les variations du module de la vitesse du véhicule au cours du temps.

Donner en fonction de t_2, t_3 et t les expressions de la vitesse v(t) et de l'accélération a(t) dans les trois intervalles de temps.

2.2.2. Pendant la phase d'accélération, le moteur exerce sur chacune des roues avant le couple $\overrightarrow{\Gamma} = \Gamma\overrightarrow{u}_z$. Déterminer l'expression P_m de la puissance développée par le moteur en fonction de r, v et Γ.

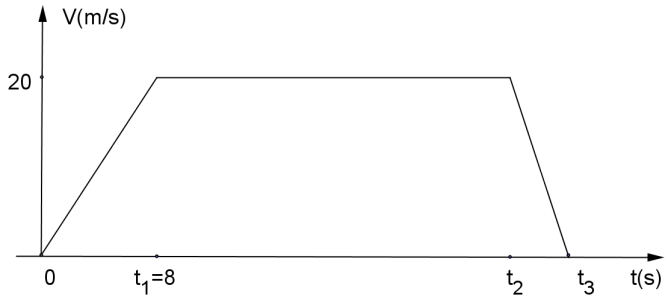

Figure 2

2.2.3. En déduire l'expression de l'accélération a, pendant cette première phase du mouvement, en fonction de r, m, M′ et Γ.

2.2.4. Entre les instants t_2 et t_3, le véhicule freine et les roues glissent sur le sol. On suppose que le moteur n'exerce aucun effort. Déterminer la relation entre la distance de freinage d_f et le coefficient de frottement f.

2.2.5. Citer au moins deux facteurs qui diminueraient la valeur du coefficient de frottement f (roue-route).

3 Quelques situations à risques

3.1. Mouvement dans un virage

Lorsque les véhicules abordent un virage avec une vitesse non convenable, ils peuvent déraper (se déplacer latéralement) et sortir ainsi de leur route ; avec risque d'accident. On étudie le mouvement d'une voiture lors d'un virage ayant la forme d'un quart de cercle de rayon R et de centre C. Le barycentre G décrit un mouvement circulaire uniforme, situé dans un plan horizontal, avec une vitesse de module constant v. On désigne par M' la masse de la voiture.

On modélise la réaction du sol par une force $\overrightarrow{R'}$ susceptible de faire déraper les roues et donc la voiture latéralement selon l'axe CG, ce glissement latéral est caractérisé par le coefficient de frottement f′. L'expression de la réaction du sol peut s'écrire sous la forme : $\overrightarrow{R'} = T'\overrightarrow{u'}_{T'} + N'\overrightarrow{u'}_{N'}$, avec :

- $T'\overrightarrow{u'}_{T'}$ représente la force de frottement de glissement latéral, elle est colinéaire à la vitesse de glissement latéral selon l'axe CG,
- $N'\overrightarrow{u'}_{N'}$ est orthogonale à la force de frottement, et au plan de la route.

3.1.1. Comment peut-on justifier, simplement, que f′ $\neq$ f pour une roue ?

3.1.2. On suppose que le virage est situé dans un plan horizontal (// XOZ). Rappeler l'expression de l'accélération dans la base de Frenet ($\overrightarrow{u}_t$, $\overrightarrow{u}_n$, $\overrightarrow{u}_b = \overrightarrow{u}_t \wedge \overrightarrow{u}_n$).

3.1.3. Montrer que pour éviter le dérapage, la vitesse de la voiture ne doit pas dépasser une valeur limite : $v < v_{lim}$.

Donner l'expression de cette vitesse limite en fonction de R, g et f′. Faire l'application numérique pour R = 20 m et f′=0,8.

3.1.4. On suppose maintenant que la route du virage est inclinée et forme avec le plan horizontal XOZ un angle α.

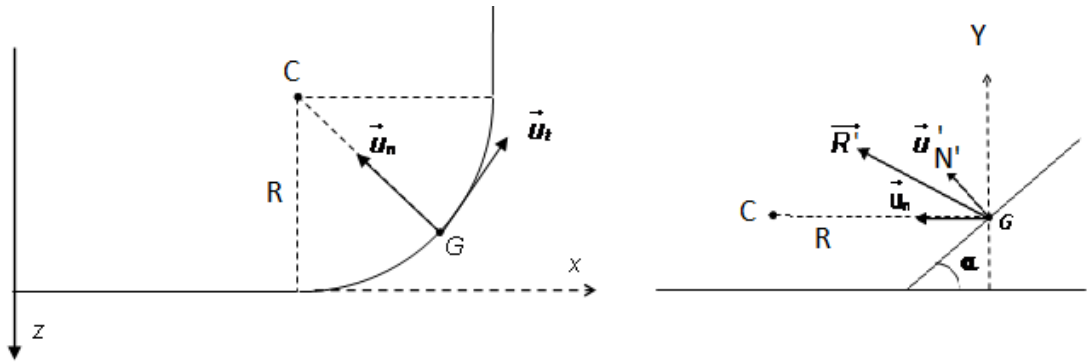

Figure 3

3.1.4.1. Donner les expressions des deux composantes T′ et N′ de la réaction en fonction de R, g, M', v, f′ et α.

3.1.4.2. Déterminer l'expression de la vitesse v_{cr} pour laquelle la réaction est orthogonale à la route.

3.1.4.3. On suppose que la voiture aborde le virage avec une vitesse v telle que $v \leq v_{cr}$. Montrer qu'il n'y aura pas de dérapage si $v \geq v_{min}$ et exprimer la valeur minimale v_{min} de la vitesse en fonction de R, g, f′ et α. Commenter.

3.1.4.4. On suppose maintenant que la voiture aborde le virage avec une vitesse v qui vérifie la condition : $v \geq v_{cr}$. Montrer qu'il n'y aura pas de dérapage si $v \leq v_{max}$ et exprimer la valeur maximale v_{max} de la vitesse en fonction de R, g, f′ et α. Commenter.

3.2. Étude d'un accident entre deux véhicules

Sur une route rectiligne parallèle à OX, on considère une voiture qui se déplace à une vitesse constante v_0 derrière un camion qui roule dans le même couloir et dans le même sens à la vitesse constante $v_0' = kv_0$.

A un instant t = 0, pris comme origine des temps, le conducteur du camion freine brusquement (les feux de stop s'allument à l'arrière du camion) et le conducteur de la voiture freine à un instant $t = t_r$. On prendra la position de la voiture à t = 0 comme origine des espaces et on note D la distance entre le devant de la voiture et l'arrière du camion.

Dés l'instant du freinage pour chaque véhicule, les roues glissent sur la route avec un coefficient de frottement f qu'on supposera identique pour toutes les roues des deux véhicules. On supposera également que les moteurs n'exercent plus d'efforts sur les deux véhicules. On s'intéresse aux mouvements des deux véhicules entre leur freinage et leur immobilisation. On donne : la masse de la voiture $M' = 1400kg$, D = 35 m, $v_0 = 90km.h^{-1}$, f = 0,6 et $k = \frac{2}{3}$.

3.2.1. On suppose ici que le conducteur de la voiture freine au même instant que le conducteur du camion : t_r = 0.

3.2.1.1. Déterminer les expressions des accélérations a_1 et a_2 respectives de la voiture et du camion.

3.2.1.2. On désigne par d_1 et d_2 les distances d'arrêt pour la voiture et pour le camion respectivement. Montrer, en le justifiant, qu' il n'y a pas d'accident.

3.2.1.3. En réalité on doit tenir compte du facteur humain relatif au temps de réflexe, c'est à dire que le conducteur de la voiture freine après le conducteur

du camion avec un retard t_r. Donner l'expression de la valeur maximale t_{rm} de ce retard pour que l'accident soit juste évité.

Quelles autres précautions permettraient au conducteur de la voiture de diminuer le risque d'accident.

3.2.2. On suppose que le conducteur de la voiture freine à l'instant t_r = 2 t_{rm}.

3.2.2.1. Donner alors l'expression de la vitesse v_a de la voiture au moment du choc en fonction des données v_0, D, g, f, d_1 et d_2.

Au moment du choc, le camion est supposé immobile. On suppose que les deux véhicules restent accolés après le choc et on suppose le système voiture-camion, noté (Σ'), comme pseudo-isolé pendant la très courte durée du choc. Entre l'instant du choc et l'instant d'immobilisation, ce système parcourt la distance d_a pendant une durée T.

3.2.2.2. En appliquant la deuxième loi de Newton, exprimer la vitesse v'_a de la voiture (donc de l'ensemble) juste après le choc en fonction de v_a sachant que la masse du camion est $M_c = 9M'$.

3.2.2.3. On suppose que le système (Σ') glisse sur la route selon un mouvement uniformément retardé avec le coefficient de frottement de glissement f.

Déterminer l'expression de la durée T avant l'immobilisation. Faire l'application numérique si v_a =8 $m.s^{-1}$.

3.2.3. Effets d'un accident sur les usagers de véhicules

Les voitures modernes sont équipées de ceintures de sécurité qui retiennent les passagers sur leurs sièges afin de diminuer l'impact des accidents.

3.2.3.1. On suppose ici que lors du choc, le conducteur est seulement retenu par la ceinture de sécurité. Déterminer l'expression du module F_1 de la force moyenne exercée par la ceinture sur le conducteur, durant la durée T, en fonction des données.

3.2.3.2. Faire l'application numérique sachant que le conducteur a une masse m_c=70 kg. Commenter ce résultat sachant que l'effet de cette force sur le thorax, est critique au dessus de 800 daN pour une personne jeune, et de 400 daN pour une personne âgée.

3.2.3.3. Au moment du choc, le passager à côté du conducteur n'avait pas mis sa ceinture de sécurité. Sa tête entre en choc avec le pare-brise pendant une durée $\tau = 6ms$ au bout de laquelle ce dernier se brise. La tête de ce passager a une masse m_t=$3,6\ kg$ et la surface de contact entre la tête et le pare-brise est s= 6 cm^2. Estimer la pression moyenne exercée par le pare-brise sur la tête de ce passager.

3.2.3.4. Le passager derrière le conducteur n'ayant pas de ceinture de sécurité, va heurter le siège du conducteur. Déterminer le module F_3 de la force moyenne que ce passager exerce sur ce siège, sachant que sa masse vaut $\frac{m_c}{2}$. Commenter.

Les ceintures de sécurité restent moins efficaces lors d'accidents à des vitesses élevées. Les organes des passagers sont projetés contre la cage thoracique et la paroi abdominale et le cerveau risque de s'écraser contre le crâne, entraînant éventuellement une paralysie à vie.

En plus des ceintures de sécurité, les voitures modernes sont équipées de systèmes d'amortissement appelés airbags. Un airbag est un sac souple qui se gonfle très

rapidement, au moment de l'accident, par un gaz produit par décomposition d'une poudre solide (azoture de sodium). Le déclenchement de ce processus est assuré par un capteur de décélération du véhicule.

3.3. Étude simplifiée d'un capteur de décélération

Le capteur de décélération est formé d'un boitier (B) lié au véhicule en mouvement et à l'intérieur duquel un solide (S) de masse m glisse sans frottements (solides) sur un plan horizontal du boitier. Ce solide est soumis à l'action d'un ressort à spires non jointives, de raideur k et de longueur à vide l_0, et d'un système d'amortissement qui exerce une force de frottements visqueux opposée à la vitesse relative du solide (S) par rapport au boitier (B) : $\overrightarrow{F}_f = -h\overrightarrow{v}_{(S)/(B)}$, où h est une constante positive. Lors du mouvement de (S) et pour une longueur donnée du ressort, un dispositif électrique déclenche la production du gaz de gonflage.

Avant l'accident, le véhicule avait un mouvement rectiligne uniforme de vitesse v_0 par rapport au référentiel terrestre $\Re$(OXYZ) supposé galiléen. L'instant de l'accident est pris comme origine des temps, et on suppose que le mouvement ultérieur du véhicule est rectiligne uniformément décéléré d'accélération a.

On étudie le mouvement de (S) dans le référentiel $\Re'$(O'X'Y'Z') lié au véhicule, auquel on associe la base $\{\overrightarrow{u}_{x'}, \overrightarrow{u}_{y'}, \overrightarrow{u}_{z'}\}$, et on repère sa position par $\overrightarrow{O'M} = x'\overrightarrow{u}_{x'}$.

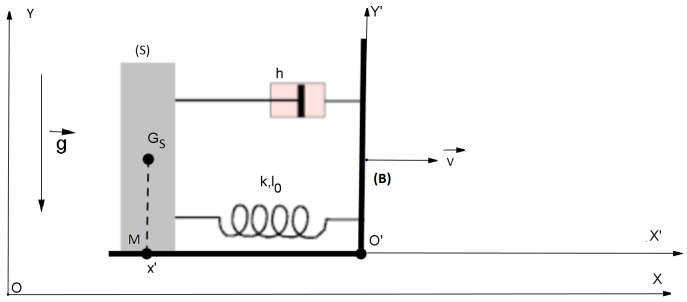

Figure 4

3.3.1. Donner les expressions des forces qui s'exercent sur (S) puis appliquer le théorème de la résultante cinétique dans le référentiel $\Re'$.

3.3.2. Montrer que l'équation différentielle du mouvement du barycentre de (S), est de la forme $\dfrac{d^2x'}{dt^2} + \dfrac{\omega_0}{Q}\dfrac{dx'}{dt} + \omega_0^2 x' = \omega_0^2 x'_e$.

On exprimera les constantes ω_0, Q et x'_e en fonction des données m, l_0, k, h et a. Quelle est la signification physique de x'_e ?

3.3.3. En tenant compte des conditions initiales, déterminer les solutions notées $x'_1(t)$ et $x'_2(t)$, correspondants respectivement aux deux cas : $Q > \dfrac{1}{2}$ et $Q = \dfrac{1}{2}$.

3.3.4. Lors d'un accident, il y a une forte décélération de la voiture et on cherche à obtenir le déclenchement de l'airbag le plus rapidement possible.

3.3.4.1. Justifier, qualitativement, que la solution qui convient est $x'_1(t)$.

3.3.4.2. Déterminer l'expression de la vitesse $\dfrac{dx'_1}{dt}$ relativement au référentiel $\Re'$.

3.3.4.3. En déduire l'expression de l'instant t_a de première annulation de la vitesse en fonction de ω_0 et Q. Calculer t_a sachant que : m =10 g, k = 49 $N.m^{-1}$ et $Q = 1$.

3.3.4.4. Déterminer l'expression de $x'_{1a} = x'_1(t = t_a)$.

3.3.4.5. Le contact électrique du déclenchement de l'airbag s'obtient pour une longueur du ressort l_a. Donner la condition que doit, alors, vérifier x'_{1a}. Cette condition sera supposée vérifiée.

3.3.4.6. En déduire une relation entre l_a et l'accélération a.

3.3.4.7. Déterminer le délai maximal τ_{max} de déclenchement de l'airbag.

3.3.5. On suppose que l'airbag est déclenché et se remplit instantanément de gaz. L'airbag est assimilé à un cylindre en nylon de rayon r_a = 20 cm et de hauteur h_a = 50 cm. On supposera que la température du véhicule reste constante, T = 300K, durant l'accident.

3.3.5.1. L'habitacle de la voiture est supposé étanche et a un volume intérieur de V_v=4m^3. Sachant que la pression initiale est $P = 10^5$ Pa, déterminer l'augmentation de pression $p(M,t)$ (surpression) dans l'intérieur de la voiture.

3.3.5.2. Les sons perçus par l'oreille sont des ondes acoustiques où la grandeur ondulatoire est la surpression $p(M,t)$. La surpression maximale supportée par l'oreille humaine (seuil de douleur) est de 20 Pa.
Conclure sur le son suivant l'ouverture de l'airbag. Commenter.

4 Étude d'un "radar" de recul

Les voitures modernes sont équipées d'un "radar" de recul qui facilite les manœuvres de stationnement et de recul. Son principe est basé sur les ondes ultrasonores. Une source située à l'arrière de la voiture émet une onde ultrasonore, celle-ci se réfléchit sur l'obstacle (derrière la voiture) et la détection de l'onde réfléchie permet d'indiquer au conducteur à quelle distance se trouve l'obstacle.

4.1. Les ondes ultrasonores sont des ondes acoustiques non audibles par l'homme et de fréquence supérieure à celle du son.
Donner le domaine de fréquence audibles par l'homme et préciser leur nature : longitudinale ou transversale. Ces ondes peuvent-elles se propager dans le vide ?

4.2. Étude théorique et vitesse de propagation d'une onde acoustique
Soit un cylindre horizontal de section droite S, fixe dans le référentiel d'étude ; il est rempli d'un gaz de masse volumique ρ_0 et de pression P_0 au repos. On note $p(x,t)$ la surpression ou pression acoustique à l'instant t dans le plan de cote x lorsqu'une onde acoustique se propage dans le gaz ($P(x,t) = P_0 + p(x,t)$). On se placera dans le cadre de l'approximation acoustique.

4.2.1. En appliquant le théorème du centre de masse à une tranche de gaz comprise entre les plans de côtes x et x + dx, déterminer l'équation aux dérivées partielles liant la vitesse de déplacement $v(x,t)$ de la tranche de gaz considérée à la surpression $p(x,t)$ qui y règne.

4.2.2. Faire un bilan de matière sur la tranche, située entre x et x+dx, durant la propagation de la perturbation. On obtient alors une relation entre ρ_0 et $v(x,t)$: quelle relation générale représente-t-elle (nom et expression générale) ?

4.2.3. En supposant que la tranche de gaz (parfait) subit une évolution adiabatique réversible au passage de l'onde. On introduit le coefficient de compressibilité isentropique $\chi_S = -\frac{1}{V}\left(\frac{\partial V}{\partial P}\right)_S$, V désigne le volume. En déduire une autre équation aux dérivées partielles.

4.2.4. En déduire l'équation d'onde vérifiée par $p(x,t)$. Donner la forme générale de la solution.

4.2.5. Qu'appelle-t-on onde plane progressive ? Donner l'expression de sa vitesse de propagation c et faire l'application numérique pour l'air à 300 K sous 1 bar.

4.3. Mesure de la vitesse de propagation d'une onde ultrasonore

On réalise une expérience dans laquelle on dispose des éléments suivants :

- Un émetteur d'ultrasons noté S,
- Deux récepteurs (capteurs) d'ultrasons notés M_1 et M_2 pouvant être déplacés horizontalement sur une règle graduée en mm,
- Un oscilloscope dont les deux voies visualisent des signaux électriques images des signaux reçus par les deux récepteurs.

Au début, on positionne les deux récepteurs sur la même position x=0 de la règle à la même distance de l'émetteur, et on observe alors sur l'oscilloscope deux signaux en phase. Dans la suite on suppose que T=300 K et P=1 bar.

4.3.1. Sur la figure 5 ci-dessous on a représenté l'écran de l'oscilloscope. Déterminer la fréquence f et son incertitude relative.

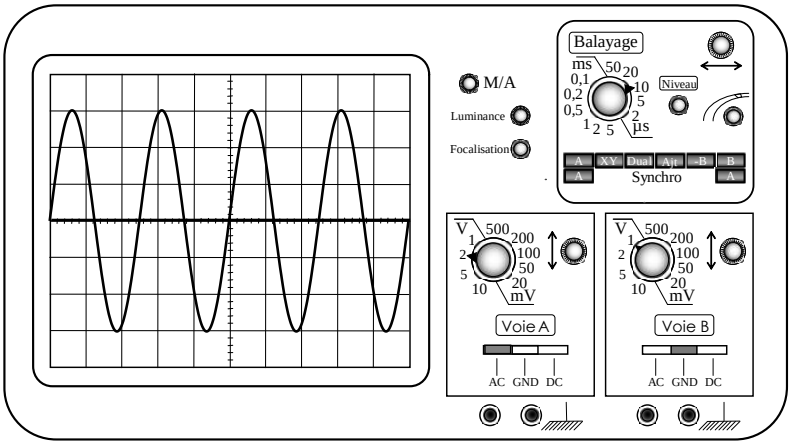

Figure 5

4.3.2. On laisse le premier récepteur M_1 en x=0 et on éloigne le deuxième M_2 sur la règle graduée. On constate, sur l'oscilloscope, qu'on obtient des signaux de nouveau en phase pour la dixième fois lorsque la distance entre les deux récepteurs est d_{10} = 8,6 cm.

En déduire la valeur de la célérité c de propagation de ces ondes avec son incertitude sous la forme $c \pm \Delta c$.

4.3.3. Le radar de recul d'une voiture émet vers l'arrière des ondes ultrasonores qui se réfléchissent sur un obstacle fixe. Les ondes réfléchies sont reçues par le capteur de la voiture après une durée τ = 9,0 ms. En déduire la distance séparant l'obstacle de l'arrière de la voiture.