À REMPLIR PAR LE CANDIDAT

Titre/Grade :	Prénom :	NOM :
Employeur :		Unité :
Spécialité essais présentée* :	MNE (option Avions)	MNE (option Hélicoptères)
(* Rayer les mentions inutiles)		

EXAMEN PROBATOIRE D’ADMISSION

AU STAGE ESSAIS DE CLASSE A

SESSION DU 16 NOVEMBRE 2015

MÉCANICIENS NAVIGANTS D'ESSAIS

ÉPREUVE ÉCRITE DE MATHÉMATIQUES ET PHYSIQUE

Durée : 1 heure - Pas de document - Calculatrice de poche non graphique et non programmable autorisée

Validé par :

NOM : Date : Signature :	NOTE : / 20

QUESTION N° 1 (3 points)

A l'aide de l'analyse dimensionnelle, retrouvez α, β, γ dans la formule donnant la fréquence de vibration d'une corde, sachant qu'elle est de la forme :

$$N = K\, l^{\alpha}\ T^{\beta}\ \mu^{\gamma}$$

où : - N = fréquence de la vibration
- l = longueur de la corde
- T = force de tension
- μ = masse linéique de la corde
- K = constante sans dimension

QUESTION N° 2 (2 points)

On considère un rotor principal d'hélicoptère Super Puma dont le diamètre est 15,58 m. En sachant que le Mach en bout de pale est limité à 0,95, quelle est la vitesse indiquée maximale de l'hélicoptère lorsqu'il est au régime rotor maximal de 310 t/min dans les conditions Zp = 0 et T = + 15°C.

NOTA : $\gamma = 1{,}4$ et R = 287

QUESTION N° 3 (4 points)

Un aéronef décolle au niveau de la mer sur une piste de 2400 mètres en 22 secondes après avoir parcouru 690 mètres. Le mouvement est considéré uniformément accéléré jusqu'à ce que les roues quittent le sol et la force de traînée est négligée pour cette phase.

Calculez :

- l'accélération γ
- la vitesse en kts acquise lorsque l'avion a parcouru 450 mètres
- la distance parcourue lorsque la vitesse atteint 80 kt
- le coefficient de portance de l'avion au moment où les roues quittent le sol

On donne : $g = 9{,}81\ m.s^{-2}$, $S = 40\ m^2$, m = 13 tonnes,
Masse volumique de l'air au niveau de la mer : $\rho = 1{,}225\ kg.m^{-3}$

QUESTION N° 4 (6 points)

Un ressort vertical, de masse négligeable et de longueur au repos L_R, est fixé en son extrémité supérieure.

En son extrémité inférieure, on accroche une masse M considérée comme ponctuelle.

Si L est la longueur du ressort à un instant donné, on appelle raideur k du ressort le rapport entre la force de rappel F qu'il génère et son élongation $L - L_R$: $F = k (L - L_R)$

On note g l'accélération de la pesanteur ;

1) Quelle est la dimension, en unités SI, de la raideur k d'un ressort ?

2) Quelle est la longueur L_E du ressort à l'équilibre ?
Que fait la masse si elle est écartée de sa position d'équilibre ?

3) Depuis cette position d'équilibre, on soulève la masse d'une hauteur telle que la longueur du ressort devienne L_0, avec $L_R < L_0 < L_E$. A l'instant t = 0, on lâche la masse M.
Quelle sera la forme du mouvement ?
Etablir l'équation différentielle qui régit le mouvement de la masse M.
En recherchant la solution de cette équation sous la forme $L = A \sin (\omega t + \varphi)$, calculez la période du mouvement en fonction de m et de k.

4) Donner l'expression littérale de l'énergie potentielle, de l'énergie élastique et de l'énergie cinétique de la masse en L_0, L_E et au point le plus bas de sa trajectoire.

5) Pour quelle position de M la vitesse est-elle maximale ?

6) En appliquant le principe de la conservation de l'énergie, calculez l'énergie cinétique en ce point.
En déduire la vitesse maximale.

Application numérique :

- k = 10 unités SI
- M = 500 g
- $g = 10 m/s^2$
- $L_R = 15$ cm
- $L_0 = 17$ cm

QUESTION N° 5 (5 points)

De l'air considéré comme un gaz parfait est contenu dans un cylindre de section S fermé par un piston.

Les conditions ambiantes sont P_A et T_A (pression et température atmosphériques).

Les conditions initiales de l'air dans le cylindre sont :

- pression = P_0
- température $T_0 = T_A$
- longueur de cylindre occupée par l'air = L_0

Le rapport des chaleurs spécifiques de l'air est noté γ.

1) L'air est comprimé au moyen du piston de façon à ce que la longueur de cylindre disponible devienne L_1.

   A quelle condition cette transformation peut-elle être considérée comme adiabatique ?

   En supposant cette transformation adiabatique, quelle est la température de l'air dans le cylindre immédiatement après la compression ?

2) A l'issue de cette compression, l'air contenu dans le cylindre échange de la chaleur avec l'extérieur par l'intermédiaire des parois du cylindre, son volume restant constant.

   Quelle est la pression de l'air dans le cylindre lorsque l'équilibre est atteint ?

Application numérique :

- température ambiante = 15°C
- $P_0 = 1{,}5\ 10^5$ Pa
- $L_1 = 0{,}5\ L_0$

DGA Essais en vol | Site d'Istres | EPNER

À REMPLIR PAR LE CANDIDAT

Titre/Grade :	Prénom :	NOM :
Employeur :		Unité :
Spécialité essais présentée* :	MNE (option Avions)	MNE (option Hélicoptères)
(* Rayer les mentions inutiles)		

EXAMEN PROBATOIRE D'ADMISSION

AU STAGE ESSAIS DE CLASSE A

SESSION DU 14 NOVEMBRE 2016

MÉCANICIENS NAVIGANTS D'ESSAIS

ÉPREUVE ÉCRITE DE MATHÉMATIQUES ET PHYSIQUE

Durée : 1 heure - Pas de document - Calculatrice de poche non graphique et non programmable autorisée

Validé par :

NOM : Date : Signature :	NOTE : / 20

EXERCICE N° 1 (5 points) :

Proposé antérieurement

EXERCICE N° 2 (5 points)

1) Montrer qu'une pression de 1013 hPa « équivaut » à 2116 livres-force/pied carré

   1 livre-force = 4,448 N
   1 pied (foot) = 0,3048 m

2) En déduire, à l'aide du principe fondamental de la dynamique (seconde loi de Newton) le facteur de conversion entre, d'une part, la valeur de l'unité de masse (le « *slug* ») dans le système « *British Engineering Units » (slug, ft, s)* cohérent (i.e. permettant de se passer de constantes de conversion dans les équations de la physique) et, d'autre part, le kg du système international.

EXERCICE N° 3 (5 points) :

Déterminer la force constante agissant sur un avion embarqué Super-Etendard de 12,5 tonnes dans les cas suivants :

1. Il est accéléré du repos jusqu'à 250 km/h en 2,2 s au catapultage.

2. Il est freiné de 180 km/h jusqu'au repos en 40 m par un brin d'arrêt accroché par sa crosse d'appontage (le mouvement de l'avion est dans la direction positive de l'axe des x).

Notes :

1) On considèrera que l'accélération et la décélération sont constantes pour ces deux cas (faux en toute rigueur).

2) Une approche énergétique (bilan) sera utilisée pour répondre aux questions.

EXERCICE N° 4 (5 points) :

Proposé antérieurement

DGA Essais en vol | Site d'Istres | EPNER

À REMPLIR PAR LE CANDIDAT

Titre/Grade :	Prénom :	NOM :
Employeur :		Unité :
Spécialité essais présentée : MNE		
(* Rayer les mentions inutiles)		

EXAMEN PROBATOIRE D'ADMISSION

AU STAGE ESSAIS DE CLASSE A

SESSION DU 13 NOVEMBRE 2017

MECANICIENS NAVIGANTS D'ESSAIS

ÉPREUVE ÉCRITE DE MATHÉMATIQUES ET PHYSIQUE

Durée : 1 heure - Pas de document - Calculatrice de poche non graphique et non programmable autorisée

Validé par :

NOM : Date : Signature :	NOTE : / 20

EXERCICE N° 1 (4 points) :

La vitesse de propagation des ondes sonores dans un gaz peut se mettre sous la forme :

$$V = k.P^{a}.\rho^{b}$$

Commenté [FM1]: a = ½ b = -½

où k est un coefficient sans dimension.

P et ρ sont respectivement la pression et la masse volumique du gaz.

Déterminer, par l'analyse dimensionnelle, l'expression de V.

EXERCICE N° 2 (5 points)

Dans un gaz à haute température (où les phénomènes thermiques ne peuvent plus être négligés), le nombre de Prandtl est un paramètre de similitude sans dimension qui peut être vu comme un indicateur de l'importance relative des phénomènes aérodynamiques par rapport aux phénomènes thermiques.
Comme les nombres de Mach, Reynolds etc., la similitude des phénomènes physiques observés (par exemple entre des conditions de vol réelles et en soufflerie) n'est possible que pour des valeurs proches de Pr caractérisant les deux environnements.

$$Pr = \mu.\ \lambda^{a}.C_p^{\ b}$$

Commenté [FM2]:
a = -1
b = 1

où :

$\mu = \nu * \rho$ (ρ est la masse volumique)

ν est la viscosité cinématique en m²/s

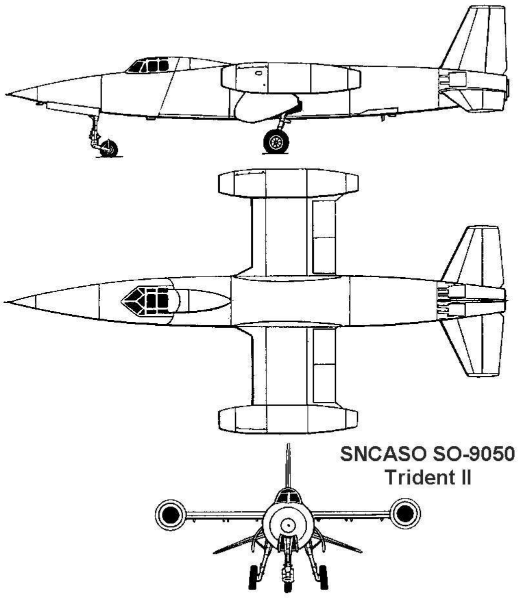
λ est la conductivité thermique en W/(m.K)

C_p est la capacité thermique massique (ou « chaleur massique ») du gaz à pression constante en J/(kg.K)

Déterminer les valeurs respectives des coefficients a et b.

EXERCICE N° 3 (5 points) :

Le retour du Trident



Contexte :

Devant la prolifération de menaces aériennes et balistiques imposant des temps de réaction très courts et des distances importantes à parcourir, l'Etat-Major des armées et la DGA ont décidé de revisiter le concept issu de la fin des années 1950 d'intercepteur « Trident » à propulsion mixte (deux réacteurs aux extrémités d'ailes et un moteur fusée en propulsion centrale).

On démontre que la meilleure pente de montée d'un aéronef à réaction s'effectue à l'incidence de finesse maximale de l'avion f_{max} qui est aussi l'incidence à laquelle la traînée est minimale (par définition et dans le cas général, la finesse est égale au rapport entre portance R_z et traînée R_x : $f = R_z/R_x$).

Le Trident V est conçu de telle manière (profil et calage/incidence de l'aile principalement) que lorsque la pente maximale réalisable au décollage à M_{TOM} est réalisée, l'incidence de l'avion soit nulle.

Dans ces conditions, le vecteur vitesse, la ligne de foi du fuselage et les poussées des 3 moteurs sont contenus dans le même plan et l'assiette géométrique de l'avion est donc considérée comme égale à la pente.

Commenté [FM3]: Donner fmax : check

Lancement : on considère les poussées et la masse du Trident M_{TOM} constantes

1) Donner l'expression et calculer la pente maximale atteignable par l'avion au décollage.
   On fera l'hypothèse des « petits angles » pour le cosinus ($\cos(x)\sim1$) dans cette seule question et il est demandé de faire un schéma (sur feuille libre au besoin).

Pour minimiser la masse de cet avion-fusée, son train d'atterrissage est dimensionné pour la fin de sa mission, avec peu de carburant restant. Il est donc accéléré sur une rampe en sortie de laquelle il atteint les conditions calculées précédemment.

2) Quelle doit être la portance développée en sortie de rampe ?
   Que vaut alors la traînée ?

3) Calculer le facteur de charge n (rapport portance/poids) – sans dimension – en sortie de rampe.

On accélère l'intercepteur sur la rampe grâce à une catapulte électromagnétique qui fournit constamment un surcroît d'accélération longitudinal de $2g_0$ sur une première partie horizontale jusqu'à obtenir la vitesse précédemment calculée puis, selon un tremplin assimilé à un arc de cercle, assure le maintien de cette vitesse jusqu'à la sortie de la rampe à la pente calculée précédemment.

4) Considérant la poussée fournie comme constante en module, et en négligeant la traînée aérodynamique, estimer la longueur minimale de la rampe horizontale.

5) Calculer le rayon de courbure constant* de la rampe pour maintenir une accélération centripète ne dépassant pas $3g_0$.

6) Faire le bilan des distances et temps de parcours de ces deux segments, ainsi que la longueur totale d'envol.

7) Calculer la hauteur totale de la rampe (là où le Trident est libéré) et commenter brièvement le résultat.

* dans les faits, on aurait un rayon de courbure progressif pour limiter le « *jolt* » (dérivée de l'accélération centripète, qui passant ici instantanément de nulle à $3*g_0$ est en théorie infinie)

Commenté [FM4]: Au moins sur 3/10 de point si on fait 8 questions au total

NOTE : MTOW = MTOM dans les explications

C'est une question de STATIQUE (**mouvement rectiligne uniforme** en sortie de rampe, l'engin, considéré de masse constante, n'accélère pas). On pose donc $\Sigma F = 0$ Il vient selon l'axe de propulsion (x) : $T_{totale} - M_{TOW}.g_0.\sin(\gamma_{max}) - Rx(\gamma_{max}) = 0$ et selon (z) : $Rz(\gamma_{max}) - M_{TOW}.g_0.\cos(\gamma_{max}) = 0$. γ_{max} étant supposé « petit », on pose $\cos(\gamma_{max}) = 1$.
$f_{max} = \max(Cz/Cx) = Rz(\gamma_{max})/Rx(\gamma_{max})$ donc $Rx(\gamma_{max}) = M_{TOW}.g_0/f_{max}$. et on peut réécrire selon (x) :
$T_{totale} - M_{TOW}.g_0.\sin(\gamma_{max}) - M_{TOW}.g_0/f_{max} = 0$
Dès lors, il vient :
$\sin(\gamma_{max}) = T_{totale}/M_{TOW}.g_0 - 1/f_{max}$ et on trouve $\gamma_{max} = 0.8$ rad = 48.4° (sans approximation sur le cosinus, on trouve quelque chose de très voisin)

Commenté [FM5]: .
$Rz = M_{TOW}.g_0.\cos(\gamma_{max}) = 216575$ N
$Rx = Rz*f = 37341$ N

Commenté [FM6]: n =0.66

Commenté [FM7]: On néglige la traînée Rx qui fait en gros 12% de la poussée totale en sortie de rampe, et ZERO au démarrage. On en déduit $nXa.g0.M_{TOW} = (T-\cancel{Rx})$ donc $nxa = T/(g0.M_{TOW}) = T/W = 0.92$
nxaTOTALE = 0.92 + 2 donc gxa totale = 2.92*9.81 = 28.64 m/s²
Le TEMPS pour atteindre la vitesse en sortie de rampe est de 161/28.64 = 6 secondes environ (5.61s).
X= 1/2*28.64*5 .61² = **451 m**

Commenté [FM8]: 878 m de rayon R ($n.g0 = V^2/R$)

Commenté [FM9]: 741m pour la longueur parcourue en 4.6 s. Total de 1192m parcourus en 4.61+5.61 = 10,2 s

Commenté [FM10]: $h = R(1-\cos(\gamma_{max})) = 292$ m
Il faudrait bâtir une rampe presque de la taille de la Tour Eiffel, ou alors se placer sur le flanc d'une montagne. Ce n'est pas rien en général, peut-être placer des accélérateurs à poudre pour un décollage vertical

Accélération de la pesanteur :	g0	= 9.81 m/s²
Masse volumique de l'air au niveau de la mer (décollage)	ρ_0	= 1.225 kg/m^3

Trident V (cellule)

Longueur :	L	= 32.7 m
Envergure totale (hors nacelles moteur, non portantes) :	b_{aile}	= 11.43 m
Surface Alaire (référence des coeffs aérodynamiques) :	S_{REF}	= 62.25 m²
Corde moyenne :	c	= 5.44 m
Allongement :	A	= 2.10
Masse maximale au décollage :	M_{TOM}	= 33240 kg
Masse à vide (avec armement et carburant résiduel) :	M_{ZFM}	= 16395 kg
Coefficient de traînée à portance nulle (subsonique) :	Cx_{0sub}	= 0.038 (référence S_{REF})
Finesse maximale (subsonique) :	f_{max}	= 5.8

Moteur M-88

Poussée unitaire pleins gaz avec post-combustion :	$F_{M88\text{-}PC}$	75000	N
Poussée unitaire pleins gaz « secs » :	$F_{M88\text{-}sec}$	50000	N
Consommation spécifique pleins gaz avec post-combustion :	SFC_{PC}	4.72E-05	kg/(N.s)
Consommation spécifique pleins gaz « sec » :	SFC_{sec}	2.22E-05	kg/(N.s)
Débit d'air nominal (@ 100% RPM) :	Q_{M88}	65	kg/s
Diamètre du Fan	D_{fan}	0.696	m
Taux de compression	τ_C	24.5	:1
Taux de dilution	τ_D	0.3	:1
Température d'entrée turbine	τ_T	1850	K

Moteur-fusée Vinci

Poussée unitaire	F_{VINCI}	150000 N
Stoechiométrie LOX/LH2 (en masse)	$\tau_{LOX/LH2}$	5.8:1
Pression de chambre	$P_{chambre}$	6.08E+06 Pa
Impulsion spécifique	I_{SP}	465 s
Vitesse d'éjection des gaz	Ve_{VINCI}	4562 m/s
Ratio d'expansion de tuyère	τ_{nozzle}	240:1
Puissance de la turbopompe LOX	$Pw_{LOX\text{-}TP}$	3.50E+05 W
Puissance de la turbopompe LH2	$Pw_{LH2\text{-}TP}$	2.40E+06 W

EXERCICE N° 4 (6 points) :

Proposé antérieurement

DGA ESSAIS EN VOL BASE D'ESSAIS D'ISTRES EPNER

À REMPLIR PAR LE CANDIDAT

Titre/Grade :	Prénom :	NOM :
Employeur :		Unité :
Spécialité essais présentée* : MNE		

EXAMEN PROBATOIRE D'ADMISSION

AU STAGE ESSAIS DE CLASSE A

SESSION DU 12 NOVEMBRE 2018

MECANICIENS NAVIGANTS D'ESSAIS

ÉPREUVE ÉCRITE DE MATHÉMATIQUES ET PHYSIQUE

Durée : 1 heure - Pas de document - Calculatrice de poche non graphique et non programmable autorisée

Validé par :

NOM : Date : Signature :	NOTE : / 20

EXERCICE N° 1 (4 points)

1. Déterminer l'unité, dans le SI, de la permittivité du vide ε_0 sachant que cette constante apparait dans l'équation suivante (loi de Coulomb) :

$$F = \frac{1}{4\pi\varepsilon_0}\frac{q^2}{r^2}$$

où F est une force, q est une charge électrique qui s'exprime en Coulomb ($1\,C = 1\,A.s$) et r une longueur.

2. On rappelle en outre la relation qui lie la tension u [V] et la charge électrique q [C] aux bornes d'un condensateur de capacité C [F] : $q = Cu$.
   En déduire une expression différente de l'unité de la permittivité du vide ε_0 utilisant le Farad [F].

EXERCICE N° 2 (4 points)

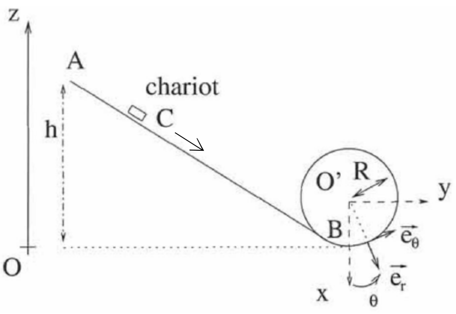


Figure1: Schématisation du problème

On étudie numériquement la trajectoire d'un chariot de parc d'attraction, de masse *m*=10 tonnes. Ce chariot part du point *A*, descend le long du plan incliné et entre ensuite dans un looping haut de R=40 m, où l'on suppose qu'il peut parcourir plusieurs tours.

Les courbes de la Figure 2 représentent l'évolution au cours du temps de l'énergie cinétique E_c, de l'énergie potentielle E_p, de l'énergie totale E_m et l'évolution de la réaction normale R_n du looping sur le chariot.

On prendra : $g = 10\ m/s^2$.

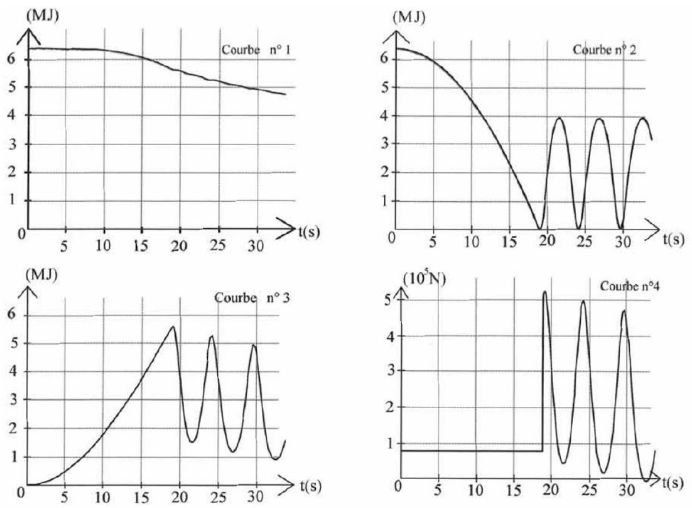


Figure 2: Résultats numériques

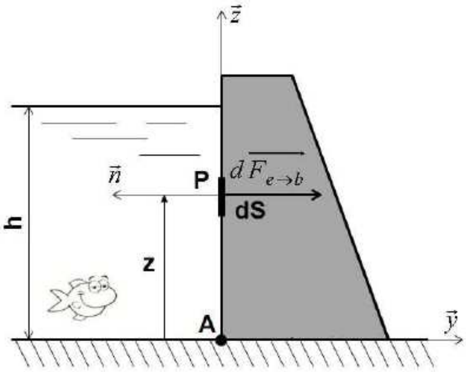
1. Associer à chaque courbe de la Figure 2 la grandeur représentée. La simulation prend-elle en compte des frottements et autres sources de dissipation ?

2. Calculer la hauteur initiale *h* et la vitesse initiale *V*0 du chariot, et la vitesse maximale *V*max qu'il atteint.

3. À quelle date le chariot quitte-t-il le looping et combien de tours entiers a-t- il effectué avant de se décoller du looping ?

EXERCICE N° 3 (8 points)

Barrage du Revest les Eaux (Var)



On note h la hauteur de la retenue d'eau située en amont du barrage et L la largeur de celui-ci (supposée constante).
On s'intéresse au point P situé à la hauteur z et on pose dS l'élément de surface du barrage autour ce point.

1.
   a. En appliquant la loi fondamentale de l'hydrostatique, donner l'expression de $p(z)$ la pression au point P.
   On notera ρ_e la masse volumique de l'eau, g de l'accélération de pesanteur terrestre, et p_a la pression atmosphérique au niveau de la surface.

   b. Dans la suite de l'exercice, on négligera la contribution liée à la pression atmosphérique au niveau de la surface. Justifier quantitativement cette hypothèse en considérant $h = 100\ m$.

2. Écrire l'expression de la force élémentaire $\overrightarrow{dF_{e\to b}}$ de l'eau sur le barrage au point P.

3. En déduire l'expression et la valeur numérique du torseur d'action mécanique qu'exerce l'eau sur le barrage écrit au point A, soit : $\{T_{e\to b}\}_A = \{\overrightarrow{F_{e\to b}} ; \overrightarrow{\mathcal{M}_{A_{e\to b}}}\}$.

4. Déterminer la hauteur du point B, notée h_B, de sorte que le torseur d'action mécanique exprimé en ce point soit un glisseur (moment égal à zéro).

EXERCICE N° 4 (4 points)

Figure 1: Pilote pressé de voler ou qui ne veut pas être mouillé ?

Dans cet exercice, on se propose de répondre à l'éternelle question : sous la pluie, est-il préférable de marcher ou de courir pour se mouiller le moins possible ?

Pour ce faire, notre pilote est assimilé à un parallélépipède rectangle de dimensions *h*, *l*, et *L* et se déplace à vitesse constante $\vec{V}$ par rapport au sol.

La pluie tombe à la vitesse $\vec{U}$ dans le plan (O*xy*). Le nombre de gouttes de pluies par unité de volume est noté *n*. Ces deux grandeurs sont supposées constantes.

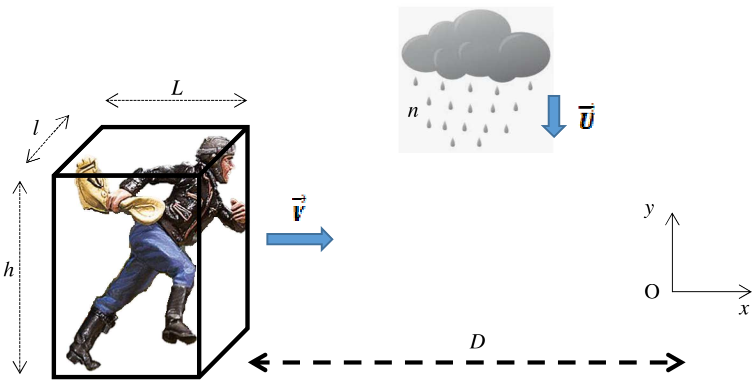


Figure 2: Modélisation du problème

Répondre à la question posée en préambule en détaillant votre raisonnement.

À REMPLIR PAR LE CANDIDAT

Titre/Grade :	Prénom :	NOM :
Employeur :		Unité :
Spécialité essais présentée* : MNE		
(* Rayer les mentions inutiles)		

EXAMEN PROBATOIRE D'ADMISSION AU

STAGE ESSAIS DE CLASSE A 2020 - 2021

SESSION DU 18 NOVEMBRE 2019

<u>Durée</u> : heures - Pas de document - Calculatrice de poche non graphique et non programmable autorisée.

Validé par :

NOM : Date :	NOTE : / 20

EXERCICE N° 1) (4 points)

Consommation impulsive…

On applique le qualificatif « spécifique » à une grandeur pour signifier qu'elle se comprend « par unité de » (masse, volume, force etc.)

L'impulsion d'une force $\vec{I}$ est une quantité **vectorielle** dont la norme vaut $I = F.\delta t$

Où δt est l'intervalle de temps pendant lequel La Force F s'exerce.

On peut comparer l'*efficience* d'un générateur de poussée à un autre (typiquement un turboréacteur ou un moteur fusée) soit en considérant C_{sp}, sa *consommation* (massique) *spécifique* (*i.e.* par unité de poussée), soit son impulsion spécifique I_{sp} (*i.e.* par unité de poids consommée, avec $g = g_0 = 9.81 m/s$).

1) En considérant une force moyenne constante en module et en direction F_{moy}, écrivez la relation liant la consommation spécifique à l'impulsion spécifique.

2) On peut dès lors établir au premier ordre une relation simple entre la vitesse d'éjection des gaz V_e d'une part et I_{sp} ou C_{sp} d'autre part. Considérant un générateur de poussée à simple flux (turboréacteur « pur »), toute chose étant égales par ailleurs, améliore-t-on respectivement I_{sp}, C_{sp} en augmentant ou en diminuant V_e ?

EXERCICE N° 2) (4 points)

Le nombre de **Reech (Re_e)** est un nombre sans dimension utilisé en mécanique des fluides. Il est utilisé pour caractériser le rapport entre les forces de pesanteur (liées à la gravité) et les forces d'inertie (liées à la vitesse de l'écoulement) du fluide. Ce nombre est notamment utilisé dans le domaine de l'architecture navale.

$$\mathbf{Re_e = g_0^{A_i}.l.u^{B_i}}$$

où u est la vitesse moyenne de l'écoulement, g_0 l'accélération dans le champ de pesanteur terrestre et l une longueur caractéristique.

1) Proposez une solution [A_i, B_i]pour l'expression de ce nombre Re_e.

2) En météorologie des montagnes (aérologie), on utilise une expression du nombre de Froude Fr (sans dimension également) :

$$\mathbf{Fr_e = u/(N.h)}$$

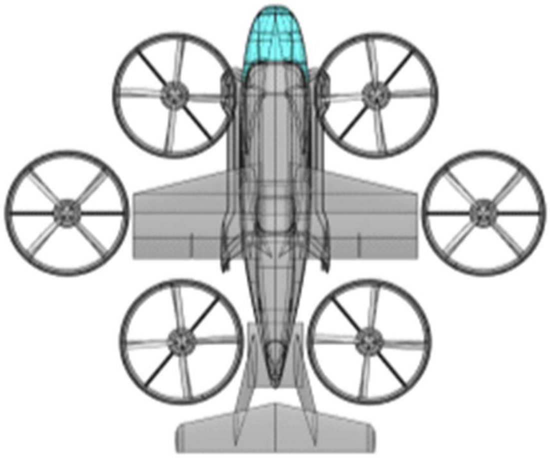
Où h est la hauteur au-dessus du sol de l'obstacle vertical qui s'oppose au passage de la masse d'air, et N est la fréquence à laquelle la masse d'air se met à osciller en présence de l'obstacle avec $N = \sqrt{\frac{g_0}{\theta} * \frac{d\theta}{dh}}$ où θ est appelée la « température potentielle » de l'air et $\frac{d\theta}{dh}$ est le gradient de température.

Le nombre de Reech peut être exprimé en fonction du nombre de Froude. Proposez-en une expression par analyse dimensionnelle.

EXERCICE N° 3) (6 points)

« *Blade Runner* »

Las Vegas, 2019 : La *Bell Corporation* a présenté au *Consumer Electronics Show* (- qui n'a rien d'aéronautique) en Janvier la maquette à l'échelle 1 de son prototype « Nexus », dont le groupe SAFRAN assure le système de propulsion hybride (turbine-électrique) de cet appareil à 6 rotors carénés, capables de transporter 5 occupants…quelque part.



MTOM = 2722 kg

A)

1) Estimez la Poussée (ou traction) moyenne de chaque rotor pour maintenir le vol stationnaire hors-effet de sol (H.E.S.)

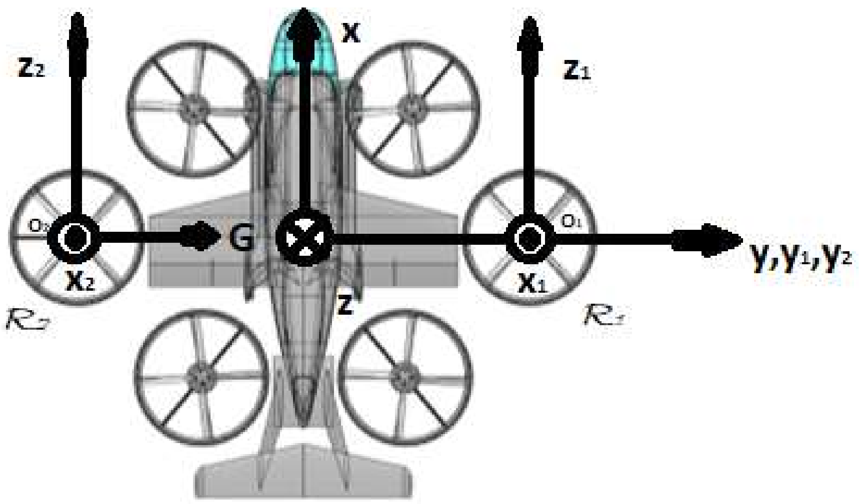
2) Estimez H.E.S., le surcroit de puissance ΔP_n nécessaire pour assurer une montée verticale continue à un minimum de 1 m/s (200 ft/min environ) à cette masse MTOM, en négligeant la traînée aérodynamique du véhicule.

3) On souhaite pouvoir établir ce taux de montée en 4 secondes maximum. En déduire la poussée minimale requise pour chaque rotor et la puissance développée à 1m/s (le couple mécanique des moteurs électriques entraînant chaque rotor varie de manière instantanée, donc la poussée qui en résulte aussi, et il n'y a aucune perte par soufflage du fuselage comme le montre le plan). Calculer le gradient de puissance $K_{P_n} = \partial P_n / \partial T$ (en W/N) à la masse maximale de la machine pour de faibles variations de vitesse ascensionnelle V_z et d'avancement V (on considère que cette poussée initiale T_i calculée finit en réalité par équilibrer le poids et la traînée du véhicule en montée verticale à V_z = 1 m/s).

4) Calculez le rendement global de propulsion $\eta_p = {}^{P_n}/_{P_u} = \frac{2}{1+\sqrt{\frac{T_i/S_r}{\frac{1}{2}*\rho_0*V_z^2}+1}}$ avec ρ_0= 1.225 kg/m^3 où P_u est la puissance « utile » ou motrice (en sortie de moteur électrique et consommée en totalité par chaque rotor de surface active S_r = 4,670 m²).

B)

Chaque rotor R_i tourne à vitesse de rotation constante ω_i. Toute augmentation de puissance se traduit par un surcouple (nécessaire pour vaincre la traînée de rotor supplé mentaire induite par la modification du pas collectif du rotor en question), et on peut considérer que le couple C_i transmis est proportionnel à la poussée/traction T_i d'un rotor : $T_i = K.C_i$ (on considère K constant autour des faible Vz et V). En stationnaire et vu d'au-dessus, Les rotors du côté droit tournent dans le sens des aiguilles d'une montre, et inversement côté gauche. Les rotors peuvent indépendamment être positionnés parallèlement à l'avancement ($\delta_i = 0°$), et dans tous les angles intermédiaires, y compris au-delà de $\delta_i = 90°$. (Note : malgré l'absence de pas cyclique, on considère que T_i s'exerce au centre de chaque disque de rotor, sans autre composante de moment que le couple de renversement M_i induit par sa rotation)



5) On veut générer un moment de lacet autour du stationnaire en basculant de manière antisymétrique les rotors en bout de voilures (si le rotor droit bascule de θ_1 vers l'avant, le rotor gauche bascule de θ_2 vers l'arrière et $\theta_2 = -\theta_1$). Ecrivez la relation reliant δ_1 et δ_2.

EXERCICE N° 4) (3 points)

Voilure basculante et table de la Draye



De nombreux projets de voitures volantes animent les bureaux d'étude. Par le passé, différents types de concepts ont été utilisés sur des aéronefs : rotation de la voilure, repliage des ailes, ailes télescopiques, etc.

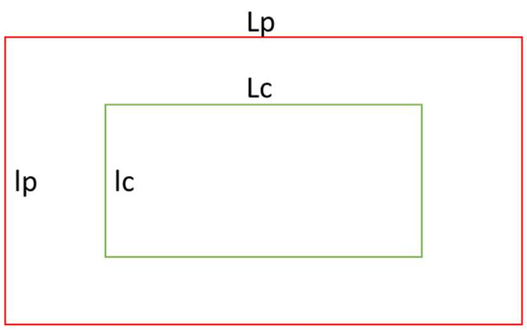
Les concepts issus de la vie civile sont souvent réutilisés, et le concept d'un doublement de surface d'une table est à l'étude pour voir son emploi éventuel. Le triplement de surface étant simple puisque symétrique.

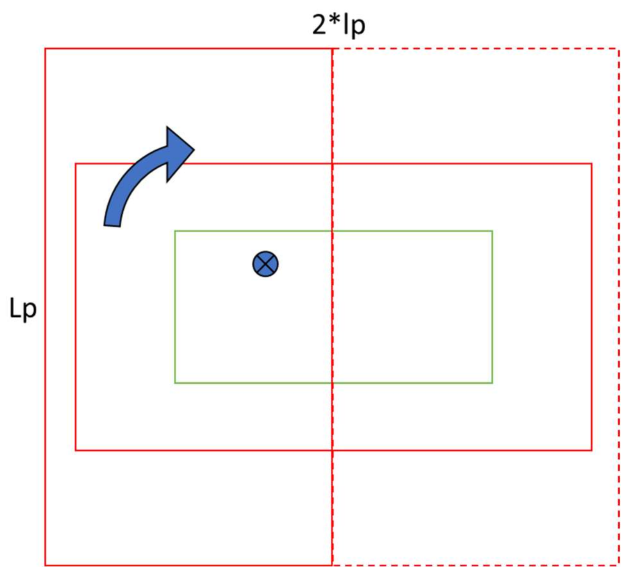
La table de la Draye qui sert d'idée à l'étude est une table composée d'un cadre portant avec ses 4 pieds aux 4 coins. Ce cadre, qui supporte le plateau est de longueur Lc et de largeur lc.

Le plateau « simple » est centré sur le cadre. Ce plateau est de longueur Lp et de largeur lp.

Pour doubler la surface du la table, l'opérateur doit déplier le double du plateau le long de l'arrête longue du plateau simple (longueur / table passe de Lp*lp à Lp*2lp), et tourner ce nouveau plateau de surface double autour d'un axe de rotation fixe sur le cadre et le plateau simple. Le positionnement de ce point de rotation est fait de telle sorte que le centre du plateau double soit également centrée sur le cadre.

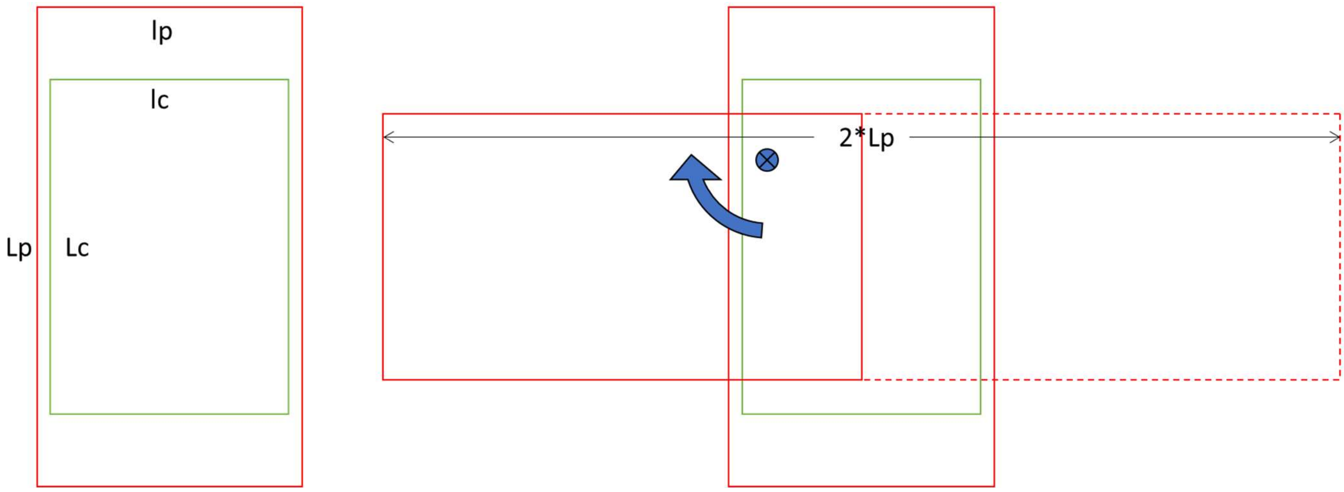
a) Exprimer la position de ce point de rotation en fonction de Lc, lc, Lp et lp par rapport à un point à définir.





b) Quelle condition est nécessaire entre les tailles du cadre et du plateau ?

c) Quid si le dépliage se fait le long de l'arrête petite du plateau simple (largeur / table passe de Lp*lp à 2Lp*lp) ?



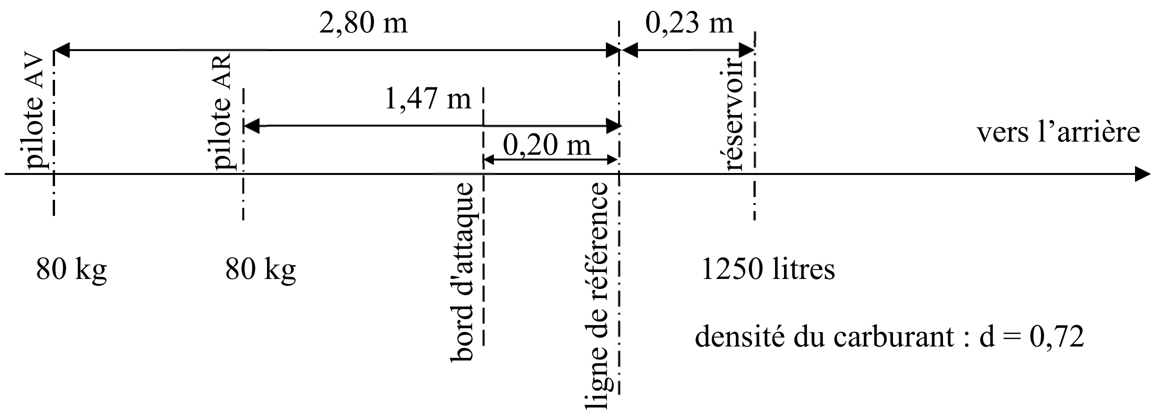
EXERCICE N° 5 (3 points)

On considère un avion dont on connaît la masse à vide m_V et la position du centre de gravité CG_V à vide par rapport à une ligne de référence.

m_V = 3 570 kg
CG_V = 0,46 m vers l'arrière
Corde moyenne aérodynamique (CMA) = 2,50 m

L'avion doit voler avec un pilote en place avant, un pilote en place arrière et 1250 litres de carburant 100LL dans le réservoir de fuselage.

Les positions des différents éléments ainsi que les masses (ou quantité de carburant) associées sont données par le dessin suivant :



À la mise en route pour un vol dans les conditions prévues, quelles sont :

1) la masse de l'avion ?
2) la position du centre de gravité ?
3) son expression en % de la CMA
4) Quelle est la quantité maximale de carburant que l'on peut mettre dans l'avion si la limite de centrage avant est à 20% ?

MINISTÈRE DES ARMÉES
Liberté
Égalité
Fraternité

Direction générale de l'armement

Essais en Vol Istres
EPNER

Titre/Grade:

Nom:

Prénom:

Examen:

EXAMEN PROBATOIRE D'ADMISSION

AU STAGE ESSAIS DE CLASSE A

____

MECANICIEN NAVIGANT D'ESSAIS

____

SESSION DU 15 NOVEMBRE 2021

____

ÉPREUVE ÉCRITE DE CONNAISSANCES SCIENTIFIQUES

Durée : 1h – Seule une calculatrice non programmable et non graphique est autorisée -- – Aucun document n'est autorisé pour cette épreuve

Document validé par :

Nom :

Date : 05/11/2021

Lieutenant-colonel Stéphane Alma
Directeur de l'EPNER

Signature :

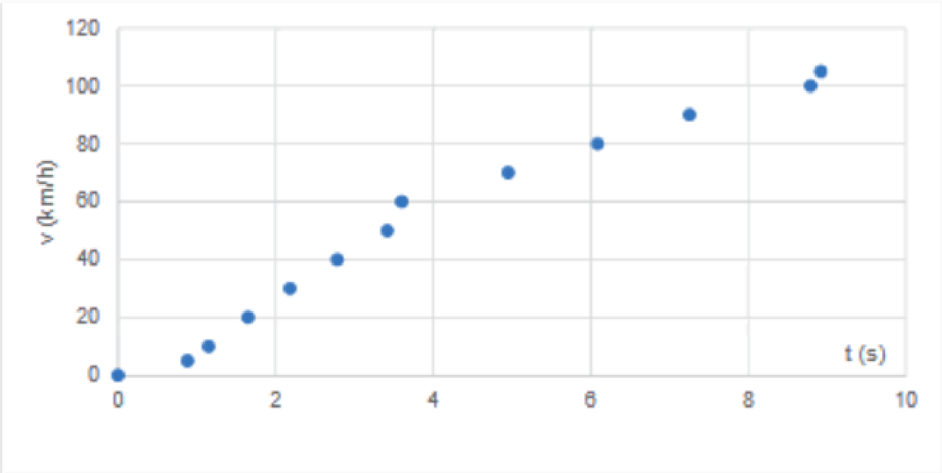
EXERCICE 1 : Performance d'une voiture électrique au démarrage

Les voitures électriques sont réputées pour accélérer plus fortement au démarrage. L'étude de l'évolution de la vitesse au cours du temps est menée sur la base d'une vidéo du tableau de bord d'une voiture électrique, départ arrêté, en ligne droite.

Photographie extraite de la vidéo du tableau de bord de la voiture étudiée :

Site internet Car Question : https://www.youtube.com/watch?v=UqDwYCxoyYI

Évolution de la vitesse de la voiture électrique au cours du temps :
À partir de la vidéo présentée ci-dessus, on relève la vitesse de la voiture électrique au cours du temps. Les mesures obtenues sont reportées dans le graphique ci-dessous :



Donnée :
-masse de la voiture : $m = 1{,}6 \times 10^3\ kg$.

1. Identifier le référentiel adopté pour les valeurs de la vitesse indiquée par le compteur de la voiture.

Les constructeurs caractérisent l'accélération d'une voiture en donnant la durée nécessaire pour que la voiture atteigne 100 km/h. Dans le cas de la voiture étudiée, on mesure, par suivi de la vitesse donnée sur le tableau de bord, une durée de 8,3 s.

2. Déterminer la valeur de l'accélération moyenne de la voiture.

On étudie le graphique donnant la vitesse de la voiture en fonction du temps.

3. On choisit de modéliser la dépendance entre la vitesse et le temps par une relation de proportionnalité. Déterminer graphiquement la valeur de l'accélération de la voiture en faisant apparaitre la démarche sur le document-réponse 1 de l'ANNEXE à rendre avec la copie. Comparer avec la valeur obtenue à la question 2.

C'est cette valeur de l'accélération que l'on retiendra pour le reste de l'exercice.

On sait que la distance parcourue à un instant t donné est $d = \frac{at^2}{2}$.

4. Déterminer la valeur de la distance nécessaire pour réaliser ce test. Commenter en la comparant au contexte quotidien de l'usage d'une voiture.

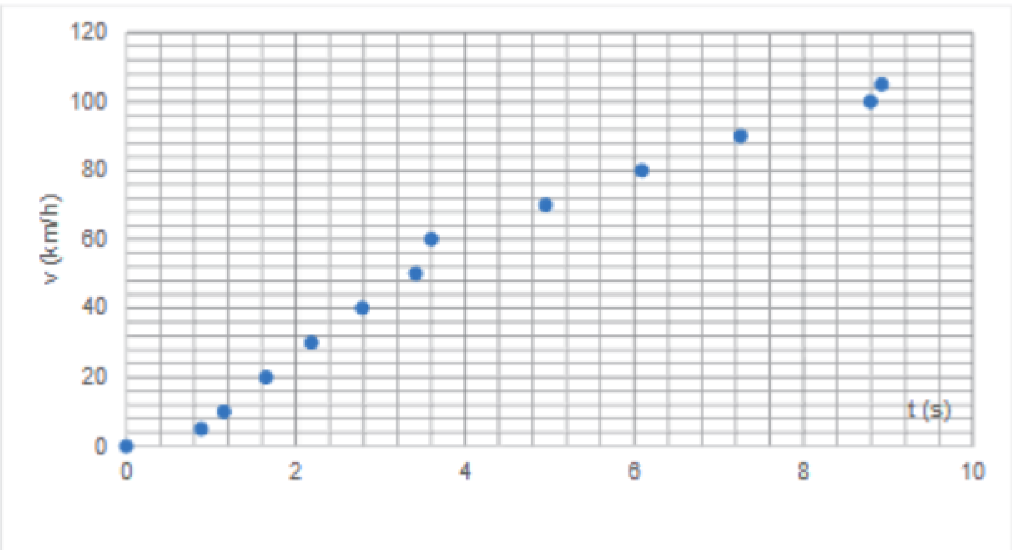
5. Déterminer, à accélération constante, par quels facteurs la distance parcourue et la vitesse atteinte sont divisées lorsque la durée d'observation est divisée par deux.

6. Déterminer la valeur de la résultante des forces extérieures exercées sur la voiture.

7. Déterminer la valeur de la variation d'énergie cinétique de la voiture lorsqu'elle a parcouru une distance de 100 m. Quelle était la forme de cette énergie avant d'être convertie en énergie cinétique ?

Document-réponse 1 : EXERCICE A, question 3

Évolution de la vitesse de la voiture électrique au cours du temps



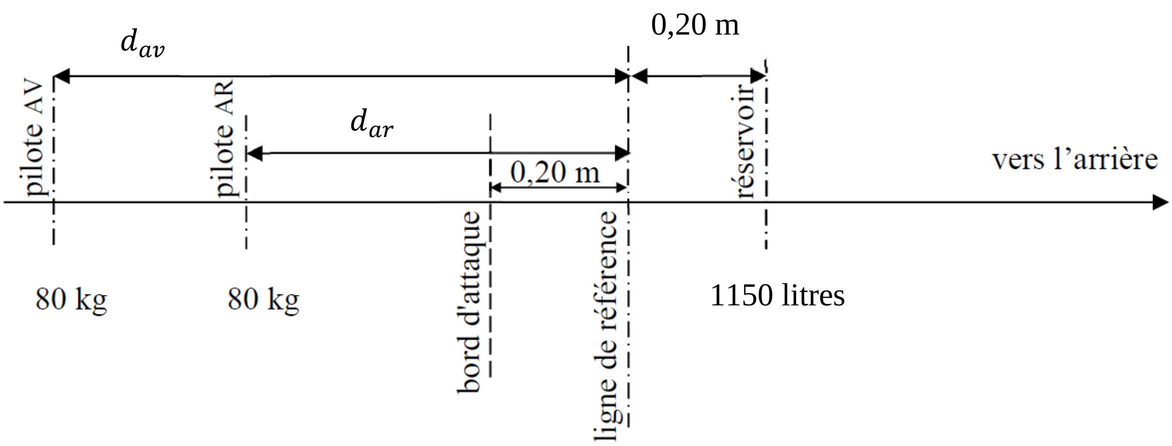
EXERCICE 2 : Centrage

On considère un avion dont on connaît la masse à vide m_v et la position du centre de gravité CG_v à vide par rapport à une ligne de référence.

On donne :
-$m_v = 4\,500\ kg$
-$CG_v = 0{,}5\ m$ vers l'arrière
-corde moyenne aérodynamique $CMA = 2{,}50\ m$
-densité du carburant : $d = 0{,}7$

L'avion doit voler avec un pilote en place avant, un pilote en place arrière et 1150 litres de carburant 100LL dans le réservoir de fuselage.

Les positions des différents éléments ainsi que les masses (ou quantité de carburant) associées sont données par le dessin suivant :



Les pilotes sont séparés de $1{,}5\ m$.

À la mise en route pour un vol dans les conditions prévues, on sait que le centre de gravité de l'avion se situe à $38\ cm$ vers l'arrière.

1- Quelle est la masse de l'avion ?

2- A quelle distance de la ligne de référence se trouvent les pilotes ?

3- Donnez l'expression de la position du CG en % de la CMA.

4- Quelle est la quantité maximale de carburant que l'on peut mettre dans l'avion si la limite de centrage avant est à 15% ?

EXERCICE 3 : Equation aux dimensions

Le nombre de Bansen Ba est un nombre sans dimension utilisé dans les opérations de transfert thermique. Il représente le rapport entre le transfert d'énergie thermique par radiation et le transfert par convection.
On le définit de la manière suivante :

$$Ba = \frac{h_r S^a}{F^b c_p}$$

Avec :
-h_r : le coefficient de transfert thermique par radiation ($J.K^{-1}.s^{-1}.m^{-2}$)
-S : la surface de transfert
-F : le débit massique ($kg.s^{-1}$)
-c_p : la capacité thermique, qui représente la quantité d'énergie thermique que l'on doit transférer à un corps pour augmenter sa température ($J.K^{-1}.kg^{-1}$)

(Source : Wikipédia)

Puisque le nombre de Bansen est sans dimension, déterminez les constantes a et b.

MINISTÈRE DES ARMÉES
Liberté
Égalité
Fraternité

Direction générale de l'armement

Essais en Vol Istres
EPNER

Titre/Grade:

Nom:

Prénom:

Examen:

EXAMEN PROBATOIRE D'ADMISSION

AU STAGE ESSAIS DE CLASSE A

____

MECANICIEN NAVIGANT D'ESSAIS

____

SESSION DU 15 NOVEMBRE 2021

____

CORRIGÉ ÉPREUVE ÉCRITE DE CONNAISSANCES SCIENTIFIQUES

Durée : 1h – Seule une calculatrice non programmable et non graphique est autorisée --
– Aucun document n'est autorisé pour cette épreuve

Document validé par :

Nom :

Date :

Signature :

EXERCICE 1

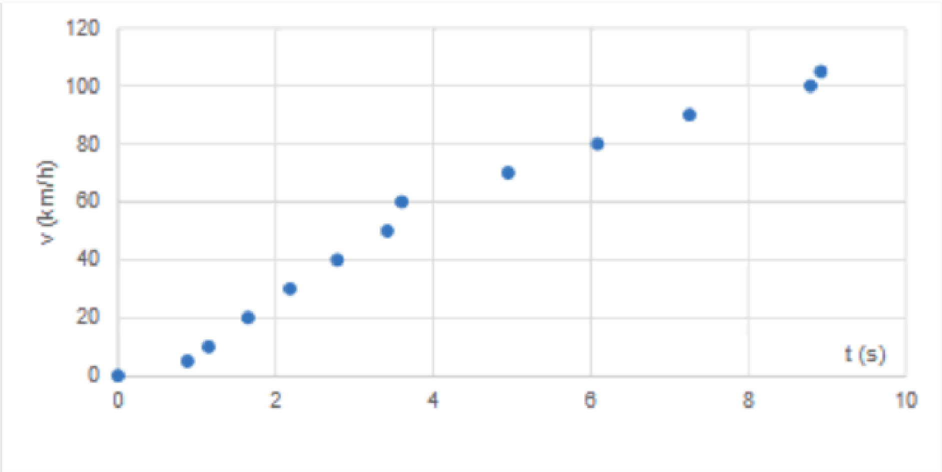
Performance d'une voiture électrique au démarrage.

Les voitures électriques sont réputées pour accélérer plus fortement au démarrage. L'étude de l'évolution de la vitesse au cours du temps est menée sur la base d'une vidéo du tableau de bord d'une voiture électrique, départ arrêté, en ligne droite.

Photographie extraite de la vidéo du tableau de bord de la voiture étudiée :

Site internet Car Question : https://www.youtube.com/watch?v=UqDwYCxoyYI

Évolution de la vitesse de la voiture électrique au cours du temps :
À partir de la vidéo présentée ci-dessus, on relève la vitesse de la voiture électrique au cours du temps. Les mesures obtenues sont reportées dans le graphique ci-dessous :



Donnée :
-masse de la voiture : $m = 1{,}6 \times 10^3\ kg$.

1. Identifier le référentiel adopté pour les valeurs de la vitesse indiquée par le compteur de la voiture.

L'étude se place dans le référentiel terrestre, supposé Galiléen. La vitesse indiquée par le compteur est relative à ce référentiel.

Les constructeurs caractérisent l'accélération d'une voiture en donnant la durée nécessaire pour que la voiture atteigne 100 km/h. Dans le cas de la voiture étudiée, on mesure, par suivi de la vitesse donnée sur le tableau de bord, une durée de 8,3 s.

2. Déterminer la valeur de l'accélération moyenne de la voiture.

En moyenne, on a l'accélération qui vaut :

$$a = \frac{V}{t} = \frac{\frac{100}{3{,}6}}{8{,}3} = 3{,}35\ m.s^{-2}$$

Avec la vitesse qui est convertie en m/s.

On étudie le graphique donnant la vitesse de la voiture en fonction du temps.

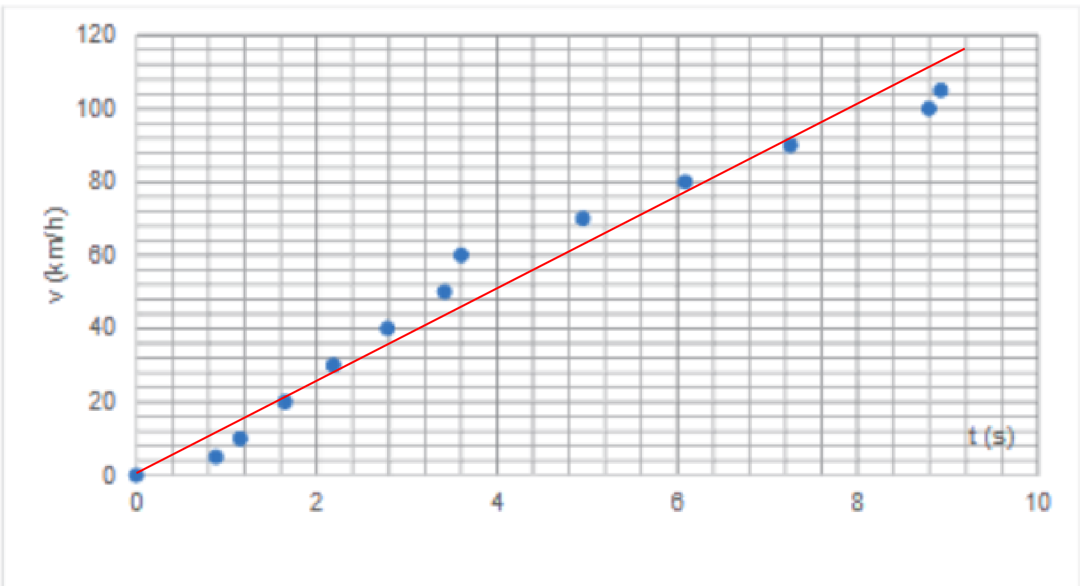
3. On choisit de modéliser la dépendance entre la vitesse et le temps par une relation de proportionnalité. Déterminer graphiquement la valeur de l'accélération de la voiture en faisant apparaitre la démarche sur le document-réponse 1 de l'ANNEXE à rendre avec la copie. Comparer avec la valeur obtenue à la question 2.

On veut trouver a tel que $V = at$, avec a l'accélération moyenne du véhicule.

De manière graphique, on trace une droite partant de l'origine, et suivant le plus possible les points mesurés :

Document-réponse 1 : EXERCICE A, question 3

Évolution de la vitesse de la voiture électrique au cours du temps



La droite en rouge a une pente :

$$a = \frac{\frac{116}{3,6}}{9,2} = 3,5\, m.s^{-2}$$

Donc l'accélération moyenne déterminée théoriquement à la question précédente ($3,35\, m.s^{-2}$) est un peu plus faible que graphiquement.

C'est cette valeur de l'accélération que l'on retiendra pour le reste de l'exercice.

On sait que la distance parcourue à un instant t donné est $d = \frac{at^2}{2}$.

4. Déterminer la valeur de la distance nécessaire pour réaliser ce test. Commenter en la comparant au contexte quotidien de l'usage d'une voiture.

On a donc :

$$d = \frac{at^2}{2} = \frac{3,5.(8,3)^2}{2} = 120,6\, m$$

C'est une distance assez importante parcourue en peu de temps.

5. Déterminer, à accélération constante, par quels facteurs la distance parcourue et la vitesse atteinte sont divisées lorsque la durée d'observation est divisée par deux.

En divisant par 2 le temps d'étude, on a :

$$d = \frac{at^2}{2} = \frac{3,5.(4,15)^2}{2} = 30,1\, m$$

Contre $120,6\, m$.

Et :

$$V = at = 3,5.4,15 = 14,5\, m/s$$

Soit :

$$V = 14,5.3,6 = 52,3\, km/h$$

Contre $(3,5.8,3).3,6 = 104,6\, km/h$ graphiquement, et $100\, km/h$ d'après l'énoncé.

La distance est beaucoup plus impactée par cette division du temps d'observation. C'est normal puisque sa dépendance est en t^2. On a un ratio $\frac{120,6}{30,1} = 4$ pour la distance et $\frac{100}{52,3} = 1,9$ pour la vitesse.

6. Déterminer la valeur de la résultante des forces extérieures exercées sur la voiture.

Le Principe Fondamental de la Dynamique nous dit que :

$$m\vec{a} = \sum \vec{F}$$

L'accélération de la voiture $\vec{a}$ dépend de la somme des forces s'exerçant sur elle $\sum \vec{F}$ et sa masse m.

Or ici l'accélération est orientée vers l'avant (la vitesse augmente) et a une norme de $3{,}5\ m.s^{-2}$.

Connaissant la masse de la voiture $m = 1{,}6 \times 10^3\ kg = 1600\ kg$, on a la résultante des forces extérieures qui vaut :

$$\sum \vec{F} = 1600.3{,}5 = 5600\ N$$

Il s'agit de la différence entre la traction générée par le moteur et la trainée aérodynamique du véhicule.

7. Déterminer la valeur de la variation d'énergie cinétique de la voiture lorsqu'elle a parcouru une distance de 100 m. Quelle était la forme de cette énergie avant d'être convertie en énergie cinétique ?

On a l'énergie cinétique qui vaut :

$$E_c = \frac{1}{2} m V^2$$

Or la voiture atteint $100\ m$ lorsque :

$$d = 100 = \frac{at^2}{2}$$

Soit à un temps :

$$t = \sqrt{\frac{2.100}{a}} = \sqrt{\frac{200}{3{,}5}} = 7{,}6\ s$$

Et donc la vitesse à ce temps vaut :

$$V = at = 3{,}5.7{,}6 = 26{,}6\ m/s = 95{,}76\ km/h$$

Ainsi :

$$E_c = \frac{1}{2} 1600.26{,}6^2 = 566\ 048\ J$$

Cette énergie provient de la batterie qui alimente le moteur. Il s'agit donc à la base d'une énergie sous forme potentielle électrique.

EXERCICE 2

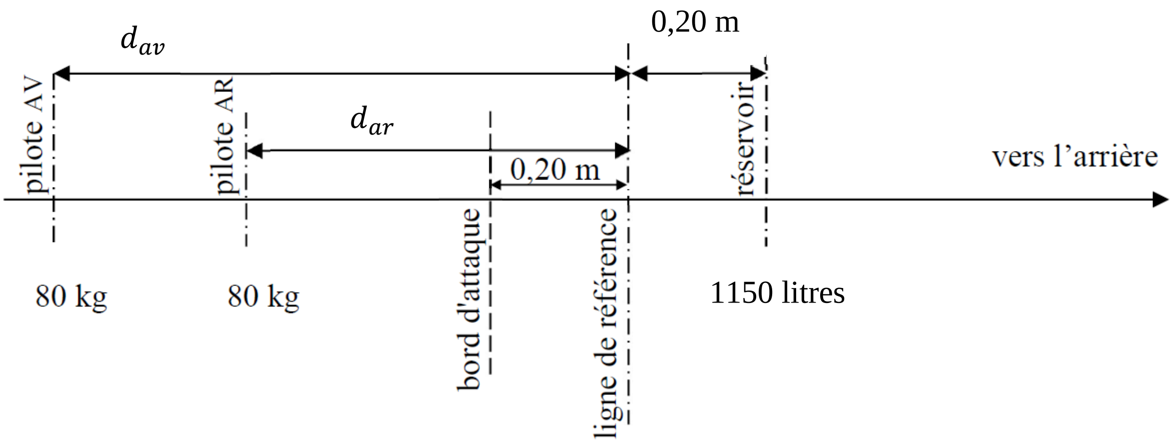
Centrage.

On considère un avion dont on connaît la masse à vide m_v et la position du centre de gravité CG_v à vide par rapport à une ligne de référence.

On donne :
-$m_v = 4\,500\ kg$
-$CG_v = 0{,}5\ m$ vers l'arrière
-corde moyenne aérodynamique $CMA = 2{,}50\ m$
-densité du carburant : $d = 0{,}7$

L'avion doit voler avec un pilote en place avant, un pilote en place arrière et 1150 litres de carburant 100LL dans le réservoir de fuselage.

Les positions des différents éléments ainsi que les masses (ou quantité de carburant) associées sont données par le dessin suivant :



Les pilotes sont séparés de $1{,}5\ m$.

À la mise en route pour un vol dans les conditions prévues, on sait que le centre de gravité de l'avion se situe à $38\ cm$ vers l'arrière.

1- Quelle est la masse de l'avion ?

On a :

$$M_{avion} = 80.2 + 1150.0{,}7 + 4500 = 5465\ kg$$

2- A quelle distance de la ligne de référence se trouvent les pilotes ?

On a :

$$M_{avion}CG = M_{carbu}.(-0{,}2) + M_{pilote}(d_{av} + d_{ar}) + m_vCG_v$$

Or :

$$d_{av} = d_{ar} + 1{,}5$$

Donc :

$$M_{avion}CG = M_{carbu}.(-0{,}2) + M_{pilote}(2d_{ar} + 1{,}5) + m_v CG_v$$

Et donc :

$$M_{avion}CG - M_{carbu}.(-0{,}2) - m_v CG_v = M_{pilote}(2d_{ar} + 1{,}5)$$

$$d_{ar} = \frac{1}{2}\left(\frac{M_{avion}CG - M_{carbu}.(-0{,}2) - m_v CG_v}{M_{pilote}} - 1{,}5\right)$$

$$d_{ar} = \frac{1}{2}\left(\frac{5465.(-0{,}38) - 1150.0{,}7.(-0{,}2) - 4500.(-0{,}5)}{80} - 1{,}5\right) = 1{,}34\ m$$

3- Donnez l'expression de la position du CG en % de la CMA.

On a directement :

$$CG_{\%} = \frac{0{,}38}{2{,}50}100 = 15{,}2\ \%$$

4- Quelle est la quantité maximale de carburant que l'on peut mettre dans l'avion si la limite de centrage avant est à 15% ?

A 15% de la CMA on a la position du CG qui vaut :

$$\frac{CG}{2{,}50}100 = 15 \rightarrow CG = \frac{15.2{,}50}{100} = 0{,}375\ m$$

Soit :

$$M_{avion}.CG = M_{avion}.(-0{,}375) = M_{carbu}.(-0{,}2) + M_{pilote}(2d_{ar} + 1{,}5) + m_v CG_v$$

Avec :

$$M_{avion} = 2M_{pilote} + M_{carbu} + m_v$$

Donc :

$$(2M_{pilote} + M_{carbu} + m_v).(-0{,}375) = M_{carbu}.(-0{,}2) + M_{pilote}(2d_{ar} + 1{,}5) + m_v CG_v$$

Puis :

$$M_{carbu}.(-0{,}375 + 0{,}2) = (2M_{pilote} + m_v).0{,}375 + M_{pilote}(2d_{ar} + 1{,}5) + m_v CG_v$$

$$M_{carbu}.(-0{,}175) = M_{pilote}(2.0{,}375 + 2d_{ar} + 1{,}5) + m_v(CG_v + 0{,}375)$$

Soit :

$$M_{carbu} = \frac{1}{-0{,}175}\left[M_{pilote}(2.0{,}375 + 2d_{ar} + 1{,}5) + m_v(CG_v + 0{,}375)\right]$$

$$M_{carbu} = \frac{1}{-0{,}175}[80.(2.0{,}375 + 2.1{,}34 + 1{,}5) + 4500.(-0{,}5 + 0{,}375)] = 961\ kg$$

Soit :

$$\frac{961}{0,7} = 1373\ L$$

EXERCICE 3

Equation aux dimensions.

Le nombre de Bansen Ba est un nombre sans dimension utilisé dans les opérations de transfert thermique. Il représente le rapport entre le transfert d'énergie thermique par radiation et le transfert par convection.
On le définit de la manière suivante :

$$Ba = \frac{h_r S^a}{F^b c_p}$$

Avec :
-h_r : le coefficient de transfert thermique par radiation ($J.K^{-1}.s^{-1}.m^{-2}$)
-S : la surface de transfert
-F : le débit massique ($kg.s^{-1}$)
-c_p : la capacité thermique, qui représente la quantité d'énergie thermique que l'on doit transférer à un corps pour augmenter sa température ($J.K^{-1}.kg^{-1}$)

(Source : Wikipédia)

Puisque le nombre de Bansen est sans dimension, déterminez les constantes a et b.

On a les unités des différents paramètres :

$$[S] = m^2$$
$$[F] = kg.s^{-1}$$
$$[c_p] = J.K^{-1}.kg^{-1}$$
$$[h_r] = J.K^{-1}.s^{-1}.m^{-2}$$

Sachant que :

$$[Ba] = \left[\frac{h_r S^a}{F^b c_p}\right] = \frac{(J.K^{-1}.s^{-1}.m^{-2}).(m^{2a})}{(kg^b.s^{-b}).(J.K^{-1}.kg^{-1})} = kg^{1-b}.s^{-1+b}.m^{2a-2}$$

Donc :

$$1 - b = 0 \rightarrow b = 1$$

Et :

$$2a - 2 = 0 \rightarrow a = 1$$

Le nombre de Bansen s'écrit donc :

$$Ba = \frac{h_r S}{F c_p}$$

MINISTÈRE DES ARMÉES

Liberté
Égalité
Fraternité

Direction générale de l'armement

Essais en Vol Istres
EPNER

Titre/Grade:

Nom:

Prénom:

Examen:

EXAMEN PROBATOIRE D'ADMISSION

AU STAGE ESSAIS DE CLASSE A

____

MECANICIEN NAVIGANT D'ESSAIS

____

SESSION DU 14 NOVEMBRE 2022

____

ÉPREUVE ÉCRITE DE CONNAISSANCES SCIENTIFIQUES

Durée : 1h – Seule une calculatrice non programmable et non graphique est autorisée --
– Aucun document n'est autorisé pour cette épreuve

Document validé par :

Nom :

Date : 02/11/2022

Signature :

Lieutenant-colonel Dimitri Drobysz
Directeur de l'EPNER

Exercice 1 : Analyse dimensionnelle

Dans un fluide, une bille de rayon R, animée d'une vitesse v est soumise à une force de frottement donnée par l'expression.

$$F = -6\pi\eta R v$$

1.a/ A l'aide d'une analyse dimensionnelle, déterminer la dimension de η.

1.b/ Soit ρ la masse volumique du fluide, proposer un nombre **sans dimension** en considérant l'expression suivante (On le notera arbitrairement N) :

$$N = \rho.\eta^B.R^C.v^D$$

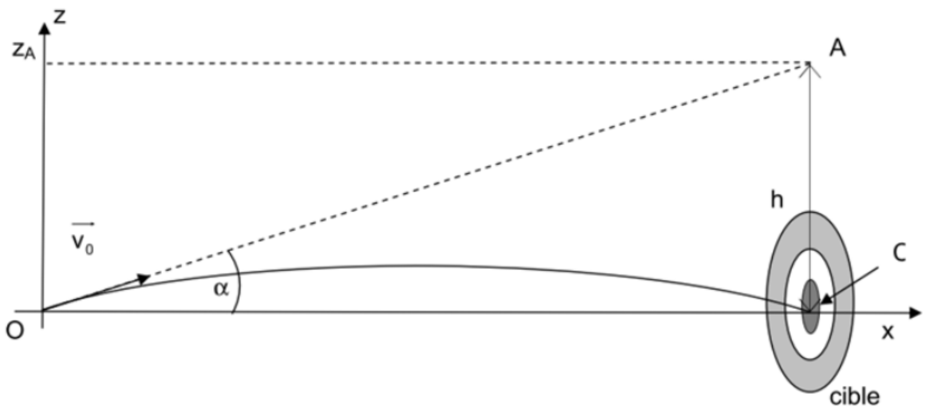
1.c/A quel célèbre nombre sans dimension correspond N ? Quelle est la signification physique de ce nombre ?

Exercice 2 : Tir d'une flèche

1. Trajectoire de la flèche

Sur les cibles de tir à l'arc se trouve un disque central de $10\ cm$ de diamètre. À $70\ m$, l'archer le voit sous un angle de moins d'un dixième de degré, et doit ajuster la position de la corde et de ses mains au millimètre près [...]. Dans quelle direction la flèche doit-elle partir pour parvenir au centre de la cible ? La résistance de l'air a ici relativement peu d'effet. La trajectoire de la flèche est à peu près balistique, c'est-à-dire de forme parabolique.

On étudie dans le référentiel terrestre supposé Galiléen le mouvement de la flèche assimilée à un point matériel de masse notée m. La situation est représentée sur la figure ci-dessous, sans souci d'échelle :



Le champ de pesanteur $\vec{g}$ est parallèle à l'axe (Oz). On prendra $g = 9{,}8\ m.s^{-2}$.

1.1 Quelle force peut-on négliger d'après le texte introductif ?

1.2. La poussée d'Archimède étant elle aussi ici négligeable, établir l'expression du vecteur accélération $\vec{a}$ de la flèche à partir du bilan des forces s'exerçant sur celle-ci.

1.3. On note α l'angle que fait le vecteur vitesse initiale $\overrightarrow{V_0}$ de la flèche avec l'axe horizontal (Ox). Les équations horaires paramétriques du mouvement du centre d'inertie sont :

$$x(t) = (V_0 cos\alpha)t \quad (1)$$

$$z(t) = -\frac{1}{2}gt^2 + (V_0 sin\alpha)t \quad (2)$$

1.3.1. Montrer que l'équation de la trajectoire de la flèche est la suivante :

$$z = -\frac{1}{2}g\frac{x^2}{V_0^2(cos\alpha)^2} + x.tan\alpha$$

1.3.2. Justifier la forme de la trajectoire indiquée à la fin du premier texte.

2. « Chute » de la flèche :

Pour une vitesse initiale typique de $70\ m/s$ $(250\ km/h)$, le vol dure environ une seconde. Au moment de toucher la cible, la flèche a chuté d'une certaine distance par rapport au point situé dans le prolongement de la direction de la vitesse initiale. Cette distance de chute, notée h sur la figure, est égale à la moitié du produit de l'accélération de la pesanteur par le carré de la durée du vol $\left(\frac{gt^2}{2}\right)$. Dans notre exemple, la « chute » est d'environ cinq mètres, d'où l'on déduit que la vitesse initiale de la flèche doit faire un angle de quatre degrés avec la droite joignant le tireur et le centre du blason.

On note A le point situé dans le prolongement de la direction de la vitesse initiale (voir figure).

2.1. Durée du trajet de la flèche :

Soit t_c la date à laquelle la flèche atteint la cible. Cette date est égale à la durée du vol de la flèche.

2.1.1. En utilisant les équations horaires paramétriques, exprimer t_c en fonction de V_0, α et x_c, abscisse du point G, centre de la cible.

2.1.2. Vérifier à l'aide d'un calcul la cohérence des valeurs numériques données dans les deux textes encadrés précédents.

2.2. « Distance de chute » :

2.2.1. Quelle hypothèse peut-on faire pour considérer que la flèche atteint le point A en gardant les mêmes conditions initiales de tir ? Préciser alors, en justifiant, la nature du mouvement de la flèche.

2.2.2. Exprimer la « distance de chute » h en fonction de V_0, t_c et α.
<u>Aide :</u> Cf annexes pour un rappel des formules trigonométriques.

2.2.3. On peut considérer que la durée du trajet hypothétique OA de la flèche et la durée t_c du parcours parabolique OC sont identiques.

En utilisant l'équation horaire paramétrique (2), retrouver alors que la « distance de chute » h, pour un tir réalisé dans les conditions réelles, est égale à « $\frac{gt^2}{2}$ », comme indiqué dans le texte ci-dessus.

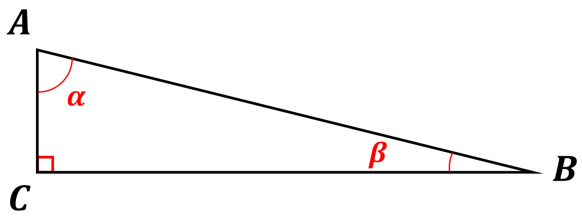
3. Influence de la valeur de la vitesse initiale sur le tir

On suppose que l'archer vise toujours juste : l'angle α est constant et égal à $4°$. On envisage une augmentation de la vitesse initiale V_0, cette dernière restant cependant suffisamment faible pour permettre à la flèche de toucher la cible.

3.1. Comment évoluent la durée du vol de la flèche et la « distance de chute » h ?

3.2. Dans ces conditions, où la flèche va-t-elle frapper la cible ?

Annexes :



$$sin\alpha = \frac{BC}{AB} \quad cos\alpha = \frac{AC}{AB} \quad tan\alpha = \frac{BC}{AC}$$

$$sin\beta = \frac{AC}{AB} \quad cos\beta = \frac{BC}{AB} \quad tan\beta = \frac{AC}{BC}$$

MINISTÈRE DES ARMÉES
Liberté
Égalité
Fraternité

Direction générale de l'armement

Essais en Vol Istres
EPNER

Titre/Grade:

Nom:

Prénom:

Examen:

EXAMEN PROBATOIRE D'ADMISSION

AU STAGE ESSAIS DE CLASSE A

____

MECANICIEN NAVIGANT D'ESSAIS

____

SESSION DU 14 NOVEMBRE 2022

____

CORRIGÉ ÉPREUVE ÉCRITE DE CONNAISSANCES SCIENTIFIQUES

<u>Durée :</u> 1h – Seule une calculatrice non programmable et non graphique est autorisée --
– Aucun document n'est autorisé pour cette épreuve

<u>Document validé par :</u>

Nom :

Date : 02/11/2022

Signature :

Exercice 1: Analyse dimensionnelle

Dans un fluide, une bille de rayon R, animée d'une vitesse v est soumise à une force de frottement donnée par l'expression.

$$F = -6\pi\eta R v$$

1.a/ A l'aide d'une analyse dimensionnelle, déterminer la dimension de η.

$$[F] = [\eta][R][v] \rightarrow [\eta] = \frac{[F]}{[R][v]} = \frac{kg.m.s^{-2}}{m.m.s^{-1}} = kg.m^{-1}.s^{-1}$$

1.b/ Soit ρ la masse volumique du fluide, proposer un nombre sans dimension en considérant l'expression suivante (On le notera arbitrairement N) :

$$N = \rho.\eta^B.R^C.v^D$$

On a :

$$[N] = [\rho.\eta^B.R^C.v^D] = [\rho][\eta]^B[R]^C[v]^D$$
$$= kg.m^{-3}.kg^B.m^{-B}.s^{-B}.m^C.m^D.s^{-D}$$
$$= kg^{1+B}.m^{-3-B+C+D}.s^{-B-D}$$

C'est un nombre sans dimensions donc :

$$1 + B = 0 \rightarrow B = -1$$
$$-3 - B + C + D = -3 + 1 + C + 1 = 0 \rightarrow -1 + C = 0 \rightarrow C = 1$$
$$-B - D = 0 \rightarrow D = 1$$

Soit :

$$N = \frac{\rho R v}{\eta}$$

1.c/A quel célèbre nombre sans dimension correspond N ? Quelle est la signification physique de ce nombre ?

On reconnait le nombre de Reynolds qui compare les forces d'inertie aux force de frottement visqueux. Il permet de caractériser la nature et le régime d'un écoulement (régime de Stokes, régime laminaire, régime transitoire ou encore régime turbulent).

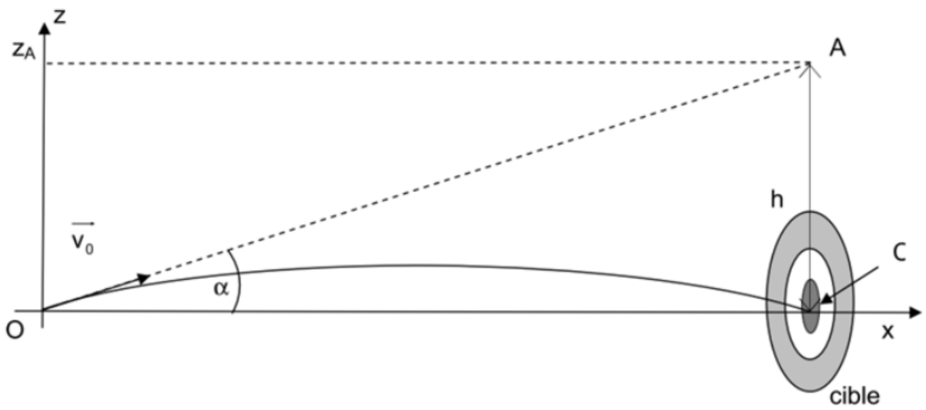
→ Régime de Stokes : Re << 1 : les forces visqueuses dominent l'écoulement. Ce régime se rencontre principalement dans la micro-fluidique
→ si Re augmente, les forces d'inertie ne sont plus négligeables, selon la valeur du nombre de Reynolds, on sera dans le cas d'un régime laminaire ou turbulent. Il existe une valeur seuil du nombre de Reynolds appelé Reynolds critique au-delà duquel le régime est turbulent.

Exercice 2 : La flèche

1. Trajectoire de la flèche

Sur les cibles de tir à l'arc se trouve un disque central de $10\,cm$ de diamètre. À $70\,m$, l'archer le voit sous un angle de moins d'un dixième de degré, et doit ajuster la position de la corde et de ses mains au millimètre près [...]. Dans quelle direction la flèche doit-elle partir pour parvenir au centre de la cible ? La résistance de l'air a ici relativement peu d'effet. La trajectoire de la flèche est à peu près balistique, c'est-à-dire de forme parabolique.

On étudie dans le référentiel terrestre supposé Galiléen le mouvement de la flèche assimilée à un point matériel de masse notée m. La situation est représentée sur la figure ci-dessous, sans souci d'échelle :



Le champ de pesanteur $\vec{g}$ est parallèle à l'axe (Oz). On prendra $g = 9{,}8\,m.s^{-2}$.

1.1 Quelle force peut-on négliger d'après le texte introductif ?

On néglige la trainée aérodynamique de la flèche.

1.2. La poussée d'Archimède étant elle aussi ici négligeable, établir l'expression du vecteur accélération $\vec{a}$ de la flèche à partir du bilan des forces s'exerçant sur celle-ci.

On applique le Principe Fondamental de la Dynamique sur la flèche, en sachant que seul le poids s'exerce sur elle :

$$m\vec{a} = m\vec{g}$$

1.3. On note α l'angle que fait le vecteur vitesse initiale $\overrightarrow{V_0}$ de la flèche avec l'axe horizontal (Ox). Les équations horaires paramétriques du mouvement du centre d'inertie sont :

$$x(t) = (V_0 cos\alpha)t \quad (1)$$

$$z(t) = -\frac{1}{2}gt^2 + (V_0 sin\alpha)t \quad (2)$$

1.3.1. Montrer que l'équation de la trajectoire de la flèche est la suivante :

$$z = -\frac{1}{2}g\frac{x^2}{V_0^2(cos\alpha)^2} + x.tan\alpha$$

On combine les équations :

$$t = \frac{x}{V_0 cos\alpha} \quad (1)$$

$$z = -\frac{1}{2}g\left(\frac{x}{V_0 cos\alpha}\right)^2 + (V_0 sin\alpha)\frac{x}{V_0 cos\alpha} \quad (2)$$

Soit :

$$z = -\frac{1}{2}g\frac{x^2}{V_0^2(cos\alpha)^2} + x.tan\alpha$$

1.3.2. Justifier la forme de la trajectoire indiquée à la fin du premier texte.

On a une équation du second degré, donc de forme parabolique comme l'indique le texte.

2. « Chute » de la flèche :

Pour une vitesse initiale typique de $70\ m/s$ $(250\ km/h)$, le vol dure environ une seconde. Au moment de toucher la cible, la flèche a chuté d'une certaine distance par rapport au point situé dans le prolongement de la direction de la vitesse initiale. Cette distance de chute, notée h sur la figure, est égale à la moitié du produit de l'accélération de la pesanteur par le carré de la durée du vol $\left(\frac{gt^2}{2}\right)$. Dans notre exemple, la « chute » est d'environ cinq mètres, d'où l'on déduit que la vitesse initiale de la flèche doit faire un angle de quatre degrés avec la droite joignant le tireur et le centre du blason.

On note A le point situé dans le prolongement de la direction de la vitesse initiale (voir figure).

2.1. Durée du trajet de la flèche :

Soit t_c la date à laquelle la flèche atteint la cible. Cette date est égale à la durée du vol de la flèche.

2.1.1. En utilisant les équations horaires paramétriques, exprimer t_c en fonction de V_0, α et x_c, abscisse du point G, centre de la cible.

On a directement :

$$t_c = \frac{x_c}{V_0 cos\alpha} \quad (1)$$

2.1.2. Vérifier à l'aide d'un calcul la cohérence des valeurs numériques données dans les deux textes encadrés précédents.

Dans les textes on nous donne :

$$x_c = 70\ m$$
$$V_0 = 70\ m/s$$
$$t_c = 1\ s$$
$$\alpha = 4\ °$$

On peut donc directement vérifier que :

$$t_c = \frac{x_c}{V_0 cos\alpha}$$

Puisque $cos\alpha = cos\left(4.\frac{2\pi}{360}\right) = 0{,}997 \approx 1$. Il ne faut pas oublier de passer l'angle en radians lorsque l'on calcule le cosinus.

2.2. « Distance de chute » :

2.2.1. Quelle hypothèse peut-on faire pour considérer que la flèche atteint le point A en gardant les mêmes conditions initiales de tir ? Préciser alors, en justifiant, la nature du mouvement de la flèche.

Il faut négliger le poids. Dans ce cas la flèche, une fois tirée, n'est soumise à aucune force. On se retrouve alors dans un mouvement rectiligne uniforme (vecteur vitesse constant).

2.2.2. Exprimer la « distance de chute » h en fonction de V_0, t_c et α.
Aide : Cf annexes pour un rappel des formules trigonométriques.

On a la relation :

$$tan\alpha = \frac{h}{x_c} = \frac{h}{t_c V_0 cos\alpha}$$

Donc :

$$h = V_0 t_c sin\alpha$$

2.2.3. On peut considérer que la durée du trajet hypothétique OA de la flèche et la durée t_c du parcours parabolique OC sont identiques.

En utilisant l'équation horaire paramétrique (2), retrouver alors que la « distance de chute » h, pour un tir réalisé dans les conditions réelles, est égale à « $\frac{gt^2}{2}$ », comme indiqué dans le texte ci-dessus.

On a :

$$z(t) = -\frac{1}{2}gt^2 + (V_0 sin\alpha)t \quad (2)$$

Donc à $t = t_c$ on a :

$$z(t_c) = -\frac{1}{2}gt_c^2 + (V_0 sin\alpha)t_c = -\frac{1}{2}gt_c^2 + h$$

La flèche a atteint la cible à ce moment donc sa hauteur $z(t_c)$ est nulle.
Et on retrouve bien que :

$$0 = -\frac{1}{2}gt_c^2 + (V_0 sin\alpha)t_c \rightarrow h = \frac{1}{2}gt_c^2$$

3. Influence de la valeur de la vitesse initiale sur le tir

On suppose que l'archer vise toujours juste : l'angle α est constant et égal à $4°$. On envisage une augmentation de la vitesse initiale V_0, cette dernière restant cependant suffisamment faible pour permettre à la flèche de toucher la cible.

3.1. Comment évoluent la durée du vol de la flèche et la « distance de chute » h ?

La flèche touche la cible de telle sorte que $x(t_c) = x_c$ avec :

$$t_c = \frac{x_c}{V_0 cos\alpha}$$

Donc si V_0 augmente, le temps diminue, logique…
Et d'autre part comme :

$$h = V_0 t_c sin\alpha = x_c tan\alpha$$

La hauteur h reste constante.

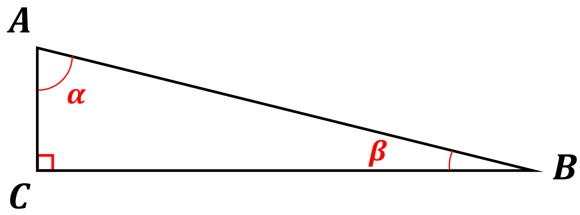
3.2. Dans ces conditions, où la flèche va-t-elle frapper la cible ?

Il faut étudier l'effet de la vitesse sur la hauteur $z(t_c)$, c'est-à-dire :

$$z(t_c) = -\frac{1}{2}gt_c^2 + h$$

Or on l'a vu, la hauteur h reste constante, tandis que le temps t_c diminue, ce qui veut dire que la hauteur $z(t_c)$ est plus grande. L'archer ne touche plus le centre de la cible (sinon on aurait $z(t_c) = 0$), mais un peu plus haut.

Annexes :



$$\sin\alpha = \frac{BC}{AB} \quad \cos\alpha = \frac{AC}{AB} \quad \tan\alpha = \frac{BC}{AC}$$

$$\sin\beta = \frac{AC}{AB} \quad \cos\beta = \frac{BC}{AB} \quad \tan\beta = \frac{AC}{BC}$$

MINISTÈRE DES ARMÉES
Liberté
Égalité
Fraternité

Direction générale de l'armement

Essais en Vol Istres
EPNER

Titre/Grade:

Nom:

Prénom:

Examen:

EXAMEN PROBATOIRE D'ADMISSION

AU STAGE ESSAIS

―――――――

CONTRÔLEUR AERIEN D'ESSAIS ET DE RÉCEPTION

―――――――

SESSION DU 9 OCTOBRE 2023

―――――――

ÉPREUVE ÉCRITE DE CONNAISSANCES SCIENTIFIQUES

Durée : 1h30 – Seule une calculatrice non programmable et non graphique est autorisée --
– Aucun document n'est autorisé pour cette épreuve

Document validé par :

Nom : DROBYSZ Dimitri

Date : 25/09/2023

Signature :

Lieutenant-colonel Dimitri Drobysz
Directeur de l'EPNER

EXERCICE 1 : COMPRENDRE LES NUAGES

La physique des nuages est l'étude des processus de formation et d'évolution des nuages et des précipitations qui les accompagnent. Les nuages sont formés de microscopiques gouttelettes. La formation et la stabilité d'un nuage dépendent notamment des mouvements verticaux de l'air dans celui-ci.

Dans une première partie, on étudie l'un des phénomènes permettant au nuage de ne pas tomber.
Dans la seconde partie, on s'intéresse à un satellite permettant d'étudier les nuages.

A. Nuage et précipitations

Pourquoi les nuages ne tombent-ils pas ?

Les nuages sont constitués de gouttelettes d'eau de très petit diamètre (de 10 à $100\ \mu m$) qui demeurent en suspension dans l'air.

Pour répondre à l'éternelle question "pourquoi les nuages ne tombent-ils pas ?", il faut en premier lieu savoir que la formation des nuages implique le plus souvent des mouvements ascendants d'air, c'est-à-dire des mouvements de l'air vers le haut. En raison de leur faible masse, les gouttelettes entrant dans la constitution du nuage n'ont pas besoin de forces de grande intensité pour être maintenues en équilibre ou être entraînées dans un mouvement ascendant. [...]

Finalement, l'état d'équilibre ou de mouvement vertical (ascendance ou chute, sous forme de pluie éventuellement) se ramène à l'étude du bilan entre deux forces colinéaires opposées : le poids de la gouttelette et la résultante verticale des forces d'agitation de l'air.

D'après Météorologie, 100 expériences pour comprendre la météo de Y. Corboz.

Pour mieux comprendre ce qui permet au nuage de rester en suspension, on s'intéresse à une gouttelette d'eau présente dans ce nuage. On modélise la situation de la gouttelette de la façon suivante :

- la gouttelette est supposée sphérique de rayon $r = 10\ \mu m$;
- volume d'une sphère :

$$V = \frac{4}{3}\pi r^3 ;$$

- la gouttelette n'est soumise qu'à son poids $\vec{P}$ et à une force verticale $\vec{F}$ exercée par l'air, dirigée vers le haut ;

- la gouttelette est supposée initialement immobile dans le référentiel terrestre supposé galiléen ;

- la valeur de la force exercée par l'air sur la gouttelette s'exprime comme suit :

$$F = k\eta r v$$

k : coefficient sans unité ; $k = 18{,}8$
η : viscosité de l'air ; $\eta = 15 \times 10^{-6}\ kg \cdot m^{-1}s^{-1}$
r : rayon de la goutte (en m)
v : vitesse de l'air dans un référentiel lié à la gouttelette (en ms^{-1})

Données :
- intensité du champ de pesanteur : $g = 9{,}8\ N.kg^{-1}$;
- masse volumique de l'eau à $20\ °C$: $\rho_{eau} = 1000\ kg \cdot m^{-3}$;
- $1\ \mu m = 1000\ mm.$

Q.1. Montrer que la valeur P du poids de la goutte est environ $4{,}1 \times 10^{-11}\ N.$

Q.2. Déterminer la valeur F de la force verticale ascendante exercée par l'air sur la gouttelette pour une vitesse verticale de l'air de $0{,}10\ ms^{-1}$.

Q.3. En déduire si la goutte monte, tombe ou reste immobile. Justifier.

Différents phénomènes (notamment des collisions) peuvent amener le rayon des gouttelettes à augmenter, provoquant leur chute, sous forme de pluie.
On suppose que la vitesse verticale ascendante de l'air reste inchangée.

Q.4. En exploitant les réponses aux questions précédentes, déterminer le rayon minimum que doit posséder une gouttelette pour tomber.

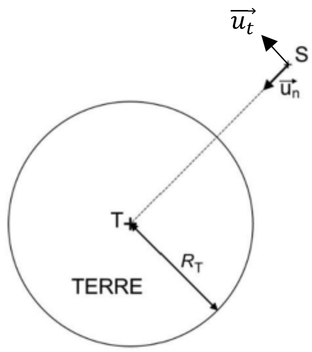
Toute démarche cohérente, même incomplète, sera valorisée.

B. Earthcare, un satellite pour étudier les nuages

EarthCARE (Earth Clouds, Aerosols and Radiation Explorer) est un satellite d'observation de l'atmosphère terrestre faisant partie du programme Living Planet de l'ESA (European Space Agency). L'un des objectifs de cette mission est d'améliorer notre compréhension du bilan radiatif de la Terre et de ses effets sur le climat. Son lancement est prévu pour 2023. Le satellite effectuera environ 16 fois le tour de la Terre chaque jour.

D'après Wikipédia.

Données :
- constante de gravitation universelle : $G = 6{,}67 \times 10^{-11}\ Nm^2kg^{-2}$;
- masse de la Terre : $M_T = 5{,}97 \times 10^{24}\ kg$;
- rayon de la Terre : $R_T = 6{,}37 \times 10^3\ km$;
- on considère que le satellite EarthCARE (noté S, de masse M_S) supposé ponctuel est en mouvement circulaire autour de la Terre à une altitude $h = 390\ km.$



Q.5. Exprimer la force d'interaction gravitationnelle $\overrightarrow{F_{T/S}}$ que la Terre exerce sur le satellite, en fonction du vecteur unitaire $\overrightarrow{u_n}$ et de l'expression $\frac{GM_SM_T}{(R_T+h)^2}$.

Q.6. En appliquant la seconde loi de Newton, montrer que le mouvement du satellite est uniforme. On notera $\vec{a}$ le vecteur accélération du satellite par rapport à la Terre.

Q.7. Montrer que la valeur de la vitesse v du satellite est donnée par la relation :

$$v = \sqrt{\frac{GM_T}{R_T + h}}$$

<u>Aide :</u> $v = (R_T + h)\omega$ et $a = (R_T + h)\omega^2$ avec ω la vitesse de rotation du satellite.

Q.8. Déduire des questions précédentes que la période de révolution du satellite est donnée par la relation :

$$T = 2\pi\sqrt{\frac{(R_T + h)^3}{GM_T}}$$

<u>Aide :</u> le périmètre d'un cercle de rayon r s'écrit $2\pi r$.

Q.9. Calculer la valeur de la période de révolution T et déterminer si cette valeur est en accord avec la phrase d'introduction : "Le satellite effectuera environ 16 fois le tour de la Terre chaque jour."

EXERCICE 2 : UN ? JET DE 7 MÈTRES ? AU HANDBALL

Source : hbcnantes.com

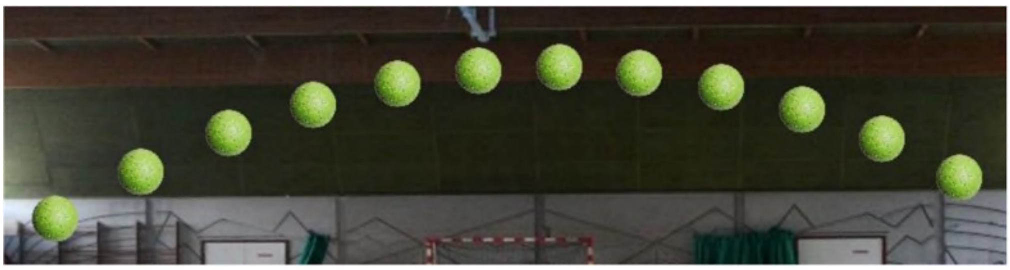
Lors du match de handball opposant le club du HBC Nantes à l'US Ivry en 2020 au palais des sports de Beaulieu, le joueur nantais Valero Rivera se trouve face au gardien adverse pour un "jet de 7 mètres", le joueur étant placé à 7 mètres du but – l'équivalent du pénalty au football. Parmi les diverses options de tir qui s'offrent à lui, il choisit le lob, une trajectoire en cloche au-dessus du gardien avancé.

Les objectifs de l'exercice sont, dans une première partie, d'étudier le mouvement d'un ballon lors d'un tir similaire filmé, et dans une seconde partie, d'étudier quelques caractéristiques des ondes sonores perçues à l'intérieur du palais des sports.

Les deux parties de cet exercice sont indépendantes.

A. Étude du mouvement d'un ballon lors du tir au-dessus du gardien

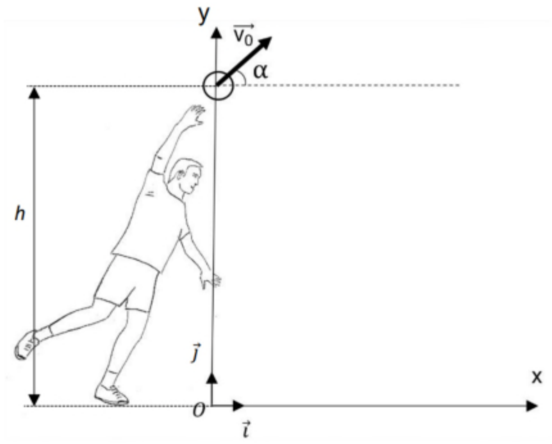
Un "jet de 7 mètres" a été reproduit et filmé au gymnase, la chronophotographie du mouvement du ballon est la suivante :



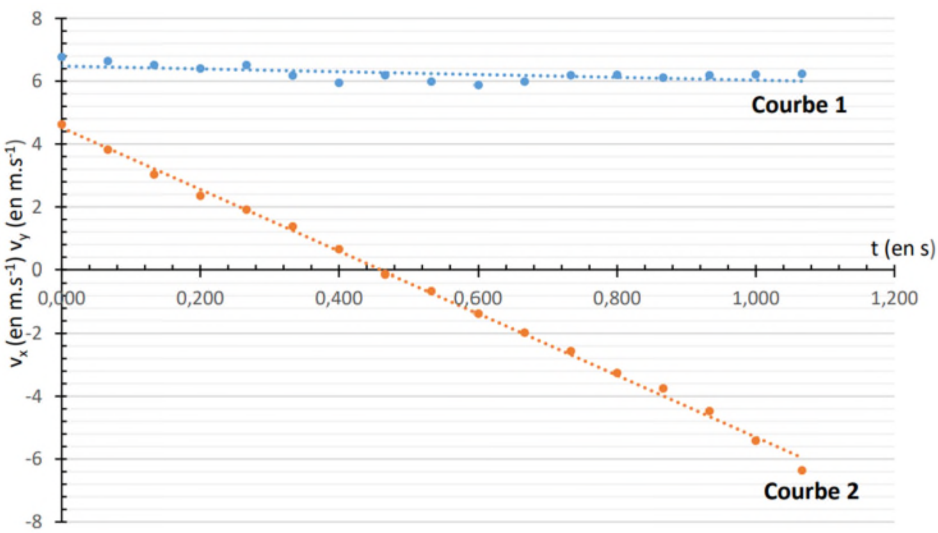
Données :
- intensité du champ de pesanteur terrestre : $g = 9{,}81\ ms^{-2}$;
- constante universelle de gravitation : $G = 6{,}67.10^{-11}\ m^3kg^{-1}s^{-2}$;
- hauteur de la barre transversale d'un but de handball : $2{,}0\ m$.

Dans cette étude :
- Le système étudié est le ballon, les coordonnées de la position de son centre de masse G sont notées $(x;\ y)$ dans le repère $R\ (O,\vec{\imath},\vec{\jmath})$.

- Dans ce repère, les coordonnées du vecteur vitesse du ballon sont notées $(v_x;\ v_y)$ et celles de son vecteur accélération sont notées $(a_x;\ a_y)$.
- Le vecteur vitesse initiale $\overrightarrow{v_0}$ du ballon forme un angle α avec l'horizontale.



- L'action de l'air sur le ballon est négligée.
- L'instant $t = 0$ correspondant à l'origine des dates est choisi juste après que le ballon a quitté la main du tireur. À cet instant, les coordonnées du centre de masse G du ballon sont $(x_0 = 0;\ y_0 = h = 2{,}34\ m)$
- Les courbes représentant les coordonnées du vecteur vitesse au cours du temps, après étalonnage du repère et pointage des positions successives du centre du ballon, sont données ci-dessous :



Évolution des coordonnées v_x et v_y du vecteur vitesse au cours du temps

Q.1. Nommer le référentiel dans lequel la trajectoire du ballon est observée sur la chronophotographie.

Q.2. En précisant certaines hypothèses, établir l'expression du vecteur accélération du centre de masse du ballon lors du tir. Établir les coordonnées de ce vecteur dans le repère $R\ (O, \vec{\imath}, \vec{\jmath})$.

Q.3. Parmi les expressions proposées pour l'intensité du champ de pesanteur terrestre, déterminer par analyse dimensionnelle celle qui est homogène (on note M_T la masse de la Terre et R_T son rayon) :

a)

$$g = \frac{GM_T^2}{R_T}$$

b)

$$g = \frac{GM_T}{R_T^2}$$

c)

$$g = \frac{G + M_T}{R_T^2}$$

Q.4. Montrer que les expressions des coordonnées du vecteur vitesse du centre de masse du ballon lors du tir sont :

$$v_x(t) = v_0 cos(\alpha);\ v_y(t) = -gt\ +\ v_0 sin(\alpha)$$

Q.5. Sur le graphique représentant l'évolution des coordonnées du vecteur vitesse au cours du temps, identifier la courbe correspondant à v_x et celle correspondant à v_y. Justifier.

Q.6. Calculer à partir de ces courbes la norme v_0 du vecteur vitesse initiale, et montrer que $\alpha = 34\ °$.

<u>*Aide :*</u> $1\ rad = \frac{360}{2\pi}\ °$

Q.7. Montrer que les équations horaires $x(t)$ et $y(t)$ du mouvement lors du tir sont :

$$x(t) = v_0 cos(\alpha)t;\ y(t) = -g\frac{t^2}{2}\ +\ v_0 sin(\alpha)t + h$$

Q.8. En déduire que l'équation $y(x)$ de la trajectoire s'écrit :

$$y(x) = -\frac{1}{2}g\frac{x^2}{v_0^2 cos^2(\alpha)} + tan(\alpha).x + h$$

Q.9. Le gardien étant situé à 4,0 m du tireur, déterminer si le "jet de 7 mètres" étudié permet de marquer un but. On considère que le gardien peut atteindre avec son bras levé une hauteur maximale de 2,8 m en plein saut.

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.

MINISTÈRE DES ARMÉES

Liberté Égalité Fraternité

Direction générale de l'armement

Essais en Vol Istres
EPNER

Titre/Grade:

Nom:

Prénom:

Examen:

EXAMEN PROBATOIRE D'ADMISSION

AU STAGE ESSAIS

____

CONTRÔLEUR AERIEN D'ESSAIS ET DE RÉCEPTION

____

SESSION DU 9 OCTOBRE 2023

____

CORRIGÉ ÉPREUVE ÉCRITE DE CONNAISSANCES SCIENTIFIQUES

Durée : 1h30 – Seule une calculatrice non programmable et non graphique est autorisée --
– Aucun document n'est autorisé pour cette épreuve

Document validé par :

Nom :

Date :

Signature :

EXERCICE 1 : COMPRENDRE LES NUAGES

La physique des nuages est l'étude des processus de formation et d'évolution des nuages et des précipitations qui les accompagnent. Les nuages sont formés de microscopiques gouttelettes. La formation et la stabilité d'un nuage dépendent notamment des mouvements verticaux de l'air dans celui-ci.

Dans une première partie, on étudie l'un des phénomènes permettant au nuage de ne pas tomber.
Dans la seconde partie, on s'intéresse à un satellite permettant d'étudier les nuages.

A. Nuage et précipitations

Pourquoi les nuages ne tombent-ils pas ?

Les nuages sont constitués de gouttelettes d'eau de très petit diamètre (de 10 à $100\ \mu m$) qui demeurent en suspension dans l'air.

Pour répondre à l'éternelle question « pourquoi les nuages ne tombent-ils pas ? », il faut en premier lieu savoir que la formation des nuages implique le plus souvent des mouvements ascendants d'air, c'est-à-dire des mouvements de l'air vers le haut. En raison de leur faible masse, les gouttelettes entrant dans la constitution du nuage n'ont pas besoin de forces de grande intensité pour être maintenues en équilibre ou être entraînées dans un mouvement ascendant. [...]

Finalement, l'état d'équilibre ou de mouvement vertical (ascendance ou chute, sous forme de pluie éventuellement) se ramène à l'étude du bilan entre deux forces colinéaires opposées : le poids de la gouttelette et la résultante verticale des forces d'agitation de l'air.

D'après Météorologie, 100 expériences pour comprendre la météo de Y. Corboz.

Pour mieux comprendre ce qui permet au nuage de rester en suspension, on s'intéresse à une gouttelette d'eau présente dans ce nuage. On modélise la situation de la gouttelette de la façon suivante :

- la gouttelette est supposée sphérique de rayon $r = 10\ \mu m$;
- volume d'une sphère :

$$V = \frac{4}{3}\pi r^3 \ ;$$

- la gouttelette n'est soumise qu'à son poids $\vec{P}$ et à une force verticale $\vec{F}$ exercée par l'air, dirigée vers le haut ;
- la gouttelette est supposée initialement immobile dans le référentiel terrestre supposé galiléen ;

- la valeur de la force exercée par l'air sur la gouttelette s'exprime comme suit :

$$F = k\eta r v$$

k : coefficient sans unité ; $k = 18{,}8$

η : viscosité de l'air ; $\eta \ = \ 15 \times 10^{-6} \ kg \cdot m^{-1} s^{-1}$
r : rayon de la goutte (en m)
v : vitesse de l'air dans un référentiel lié à la gouttelette (en ms^{-1})

Données :
- intensité du champ de pesanteur : $g \ = \ 9{,}8 \ N.kg^{-1}$;
- masse volumique de l'eau à $20 \ °C$: $\rho_{eau} = 1000 \ kg \cdot m^{-3}$;
- $1 \ \mu m = 1000 \ mm.$

Q.1. Montrer que la valeur P du poids de la goutte est environ $4{,}1 \times 10^{-11} \ N$.

$$P = mg = \rho V g = \rho \frac{4}{3} \pi r^3 g = 1000 \frac{4}{3} \pi (10.10^{-6})^3 . 9{,}81 = 4{,}1.10^{-14} \ N$$

Q.2. Déterminer la valeur F de la force verticale ascendante exercée par l'air sur la gouttelette pour une vitesse verticale de l'air de $0{,}10 \ ms^{-1}$.

$$F \ = \ k\eta r v = 18{,}8.15.10^{-6}.10.10^{-6}.0{,}1 = 2{,}8.10^{-10} \ N$$

Q.3. En déduire si la goutte monte, tombe ou reste immobile. Justifier.

Par le Principe Fondamental de la Dynamique, la somme des forces s'exerçant sur la goutte, projetée suivant l'axe vertical, n'est pas nulle. Le vecteur accélération est ici orienté vers le haut puisque la force verticale ascendante est supérieure au poids.

Différents phénomènes (notamment des collisions) peuvent amener le rayon des gouttelettes à augmenter, provoquant leur chute, sous forme de pluie.
On suppose que la vitesse verticale ascendante de l'air reste inchangée.

Q.4. En exploitant les réponses aux questions précédentes, déterminer le rayon minimum que doit posséder une gouttelette pour tomber.

Toute démarche cohérente, même incomplète, sera valorisée.

Il faut que le poids de la goutte soit supérieur à la force exercée par l'air. Le rayon minimum est donc atteint lorsque le poids est égal à F :

$$P = \rho \frac{4}{3} \pi r^3 g = F = \ k\eta r v = 2{,}8.10^{-10} \ N$$

Soit :

$$r^3 = \frac{3}{4} \frac{2{,}8.10^{-10}}{\rho \pi g}$$

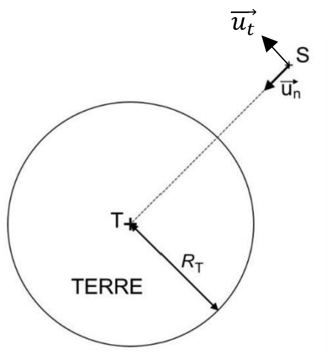
$$r = \sqrt[3]{\frac{3}{4} \frac{2{,}8.10^{-10}}{1000\pi . 9{,}81}} = 1{,}9.10^{-5} \ m = 19.10^{-6} \ m = 19 \ \mu m$$

B. Earthcare, un satellite pour étudier les nuages

EarthCARE (Earth Clouds, Aerosols and Radiation Explorer) est un satellite d'observation de l'atmosphère terrestre faisant partie du programme Living Planet de l'ESA (European Space Agency). L'un des objectifs de cette mission est d'améliorer notre compréhension du bilan radiatif de la Terre et de ses effets sur le climat. Son lancement est prévu pour 2023. Le satellite effectuera environ 16 fois le tour de la Terre chaque jour.

D'après Wikipédia.

Données :
- constante de gravitation universelle : $G = 6{,}67 \times 10^{-11}\ Nm^2kg^{-2}$;
- masse de la Terre : $M_T = 5{,}97 \times 10^{24}\ kg$;
- rayon de la Terre : $R_T = 6{,}37 \times 10^3\ km$;
- on considère que le satellite EarthCARE (noté S, de masse M_S) supposé ponctuel est en mouvement circulaire autour de la Terre à une altitude $h = 390\ km$.



Q.5. Exprimer la force d'interaction gravitationnelle $\overrightarrow{F_{T/S}}$ que la Terre exerce sur le satellite, en fonction du vecteur unitaire $\overrightarrow{u_n}$ et de l'expression $\frac{GM_SM_T}{(R_T+h)^2}$.

La force est orientée vers la Terre (attraction), donc :

$$\overrightarrow{F_{T/S}} = \frac{GM_SM_T}{(R_T+h)^2}\overrightarrow{u_n}$$

Q.6. En appliquant la seconde loi de Newton, montrer que le mouvement du satellite est uniforme. On notera $\vec{a}$ le vecteur accélération du satellite par rapport à la Terre.

On a :

$$M_S\vec{a} = \overrightarrow{F_{T/S}} = \frac{GM_SM_T}{(R_T+h)^2}\overrightarrow{u_n}$$

L'accélération est nulle suivant l'axe d'avancement du satellite $\overrightarrow{u_t}$, donc le mouvement est uniforme.

Q.7. Montrer que la valeur de la vitesse v du satellite est donnée par la relation :

$$v = \sqrt{\frac{GM_T}{R_T + h}}$$

<u>Aide :</u> $v = (R_T + h)\omega$ et $a = (R_T + h)\omega^2$ avec ω la vitesse de rotation du satellite.

On a :

$$M_S a = \frac{GM_S M_T}{(R_T + h)^2} \rightarrow a = \frac{GM_T}{(R_T + h)^2} = (R_T + h)\omega^2$$

Donc :

$$\omega = \sqrt{\frac{GM_T}{(R_T + h)^3}}$$

Et :

$$v = (R_T + h)\omega = (R_T + h)\sqrt{\frac{GM_T}{(R_T + h)^3}} = \sqrt{\frac{(R_T + h)^2 GM_T}{(R_T + h)^3}}$$

Ainsi :

$$v = \sqrt{\frac{GM_T}{R_T + h}}$$

Q.8. Déduire des questions précédentes que la période de révolution du satellite est donnée par la relation :

$$T = 2\pi\sqrt{\frac{(R_T + h)^3}{GM_T}}$$

<u>Aide :</u> le périmètre d'un cercle de rayon r s'écrit $2\pi r$.

On a :

$$v = \frac{d}{T} = \frac{2\pi(R_T + h)}{T}$$

Avec d la distance parcourue par la satellite sur une révolution.

Donc :

$$\frac{2\pi(R_T + h)}{T} = \sqrt{\frac{GM_T}{R_T + h}}$$

$$T = \frac{2\pi(R_T + h)}{\sqrt{\frac{GM_T}{R_T + h}}} = \frac{2\pi(R_T + h)\sqrt{(R_T + h)}}{\sqrt{GM_T}} = 2\pi\sqrt{\frac{(R_T + h)^3}{GM_T}}$$

Q.9. Calculer la valeur de la période de révolution T et déterminer si cette valeur est en accord avec la phrase d'introduction : « Le satellite effectuera environ 16 fois le tour de la Terre chaque jour. »

$$T = 2\pi\sqrt{\frac{(R_T + h)^3}{GM_T}} = 2\pi\sqrt{\frac{(6{,}37.10^3.10^3 + 390.10^3)^3}{6{,}67.10^{-11}.5{,}97.10^{24}}} = 5534\ s$$

Remarque : attention de bien passer les km en m dans la formule.

Et chaque jour il s'écoule $60.60.24 = 86400\ s$, donc :

$$\frac{86400}{5534} = 15{,}6$$

Ainsi le satellite parcourt presque 16 fois le tour de la Terre par jour.

EXERCICE 2 : UN « JET DE 7 MÈTRES » AU HANDBALL

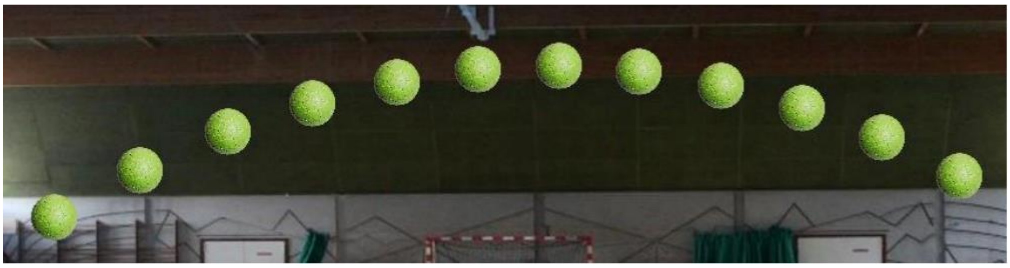
Source : hbcnantes.com

Lors du match de handball opposant le club du HBC Nantes à l'US Ivry en 2020 au palais des sports de Beaulieu, le joueur nantais Valero Rivera se trouve face au gardien adverse pour un « jet de 7 mètres », le joueur étant placé à 7 mètres du but – l'équivalent du pénalty au football. Parmi les diverses options de tir qui s'offrent à lui, il choisit le lob, une trajectoire en cloche au-dessus du gardien avancé.

Les objectifs de l'exercice sont, dans une première partie, d'étudier le mouvement d'un ballon lors d'un tir similaire filmé.

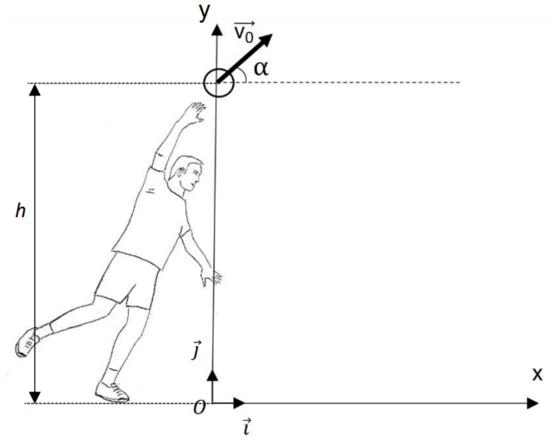
A. Étude du mouvement d'un ballon lors du tir au-dessus du gardien

Un « jet de 7 mètres » a été reproduit et filmé au gymnase, la chronophotographie du mouvement du ballon est la suivante :

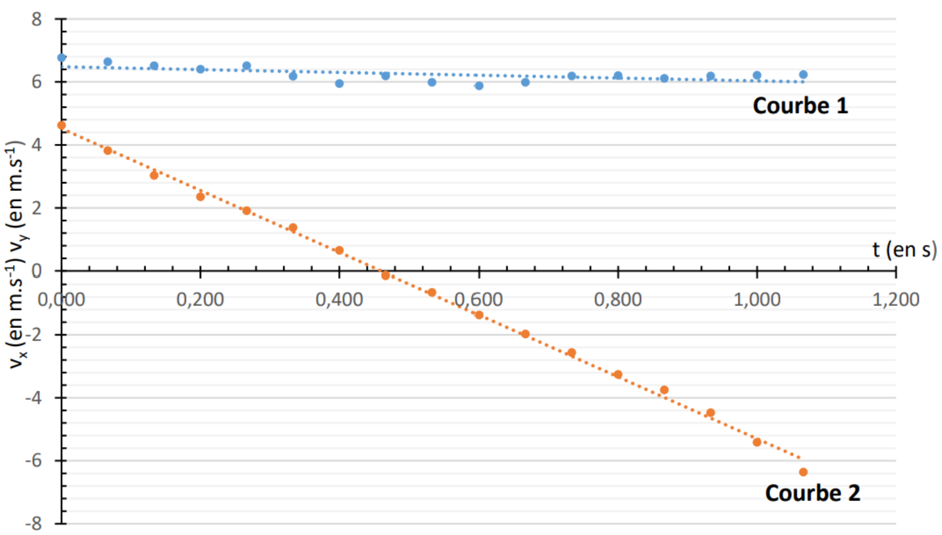


Données :
- intensité du champ de pesanteur terrestre : $g = 9{,}81\ ms^{-2}$;
- constante universelle de gravitation : $G = 6{,}67.10^{-11}\ m^3kg^{-1}s^{-2}$;
- hauteur de la barre transversale d'un but de handball : $2{,}0\ m$.

Dans cette étude :
- Le système étudié est le ballon, les coordonnées de la position de son centre de masse G sont notées $(x;\ y)$ dans le repère $R\ (O, \vec{i}, \vec{j})$.
- Dans ce repère, les coordonnées du vecteur vitesse du ballon sont notées $(v_x;\ v_y)$ et celles de son vecteur accélération sont notées $(a_x;\ a_y)$.
- Le vecteur vitesse initiale $\overrightarrow{v_0}$ du ballon forme un angle α avec l'horizontale.



- L'action de l'air sur le ballon est négligée.
- L'instant $t = 0$ correspondant à l'origine des dates est choisi juste après que le ballon a quitté la main du tireur. À cet instant, les coordonnées du centre de masse G du ballon sont $(x_0 = 0;\ y_0 = h = 2{,}34\ m)$
- Les courbes représentant les coordonnées du vecteur vitesse au cours du temps, après étalonnage du repère et pointage des positions successives du centre du ballon, sont données ci-dessous :



Évolution des coordonnées v_x et v_y du vecteur vitesse au cours du temps

Q.1. Nommer le référentiel dans lequel la trajectoire du ballon est observée sur la chronophotographie.

Il s'agit d'un référentiel Galiléen.

Q.2. En précisant certaines hypothèses, établir l'expression du vecteur accélération du centre de masse du ballon lors du tir. Établir les coordonnées de ce vecteur dans le repère $R\ (O, \vec{\imath}, \vec{\jmath})$.

On applique le Principe Fondamental de la Dynamique au ballon, en négligeant l'effet de l'air :

$$m\vec{a} = m\vec{g}$$

Soit :

$$\vec{a} = \vec{g} = -g\vec{j}$$

Donc les coordonnées sont :

$$(a_x = 0; a_y = -g)$$

Q.3. Parmi les expressions proposées pour l'intensité du champ de pesanteur terrestre, déterminer par analyse dimensionnelle celle qui est homogène (on note M_T la masse de la Terre et R_T son rayon) :

a)

$$g = \frac{GM_T^2}{R_T}$$

b)

$$g = \frac{GM_T}{R_T^2}$$

c)

$$g = \frac{G + M_T}{R_T^2}$$

On a :

$$[g] = ms^{-2}$$

Sachant que :

$$[G] = m^3kg^{-1}s^{-2}$$

$$[M_T] = kg$$

$$[R_T] = m$$

On trouve donc :

$$\left[\frac{GM_T}{R_T^2}\right] = \frac{m^3kg^{-1}s^{-2}kg}{m^2} = ms^{-2} = [g]$$

Q.4. Montrer que les expressions des coordonnées du vecteur vitesse du centre de masse du ballon lors du tir sont :

$$v_x(t) = v_0cos(\alpha);\ v_y(t) = -gt\ +\ v_0sin(\alpha)$$

On part du PFD qui nous donne :

$$a_x = 0$$

Et par intégration :

$$v_x(t) = cste = v_x(t = 0) = v_0cos(\alpha)$$

Puis :

$$a_y = -g$$

Et par intégration :

$$v_y(t) = -gt + cste$$

Avec :

$$v_y(t=0) = cste = v_0 sin(\alpha)$$

Q.5. Sur le graphique représentant l'évolution des coordonnées du vecteur vitesse au cours du temps, identifier la courbe correspondant à v_x et celle correspondant à v_y. Justifier.

La coordonnée v_x est constante donc correspond à la courbe bleue. La coordonnées v_y est d'abord positive (phase de montée de la balle), puis négative (phase de redescente).

Q.6. Calculer à partir de ces courbes la norme v_0 du vecteur vitesse initiale, et montrer que $\alpha = 34\,°$.

<u>*Aide :*</u> $1\, rad = \frac{360}{2\pi}\,°$

On a approximativement :

$$v_0 = \sqrt{v_x^2(t=0) + v_y^2(t=0)} = \sqrt{6{,}8^2 + 4{,}6^2} = 8{,}2\, ms^{-1}$$

Puis :

$$v_x(t=0) = v_0 cos(\alpha) = 6{,}8\, ms^{-1}$$

Soit :

$$cos(\alpha) = \frac{6{,}8}{8{,}2}$$

$$\alpha = 0{,}593\, rad \approx 34\,°$$

Q.7. Montrer que les équations horaires $x(t)$ et $y(t)$ du mouvement lors du tir sont :

$$x(t) = v_0 cos(\alpha)t;\ y(t) = -g\frac{t^2}{2} + v_0 sin(\alpha)t + h$$

On reprend les coordonnées de la vitesse que l'on intègre :

$$v_x(t) = v_0 cos(\alpha) \rightarrow x(t) = v_0 cos(\alpha)t + cste$$

Avec :

$$x(t=0) = 0\, m$$

Soit :

$$x(t) = v_0 cos(\alpha)t$$

Et :

$$v_y(t) = -gt + v_0 sin(\alpha) \rightarrow y(t) = -\frac{gt^2}{2} + v_0 sin(\alpha)t + cste$$

Avec :

$$y(t=0) = h$$

Soit :

$$y(t) = -g\frac{t^2}{2} + v_0 sin(\alpha)t + h$$

Q.8. En déduire que l'équation $y(x)$ de la trajectoire s'écrit :

$$y(x) = -\frac{1}{2}g\frac{x^2}{v_0^2 cos^2(\alpha)} + tan(\alpha).x + h$$

On a :

$$x(t) = v_0 cos(\alpha)t \rightarrow t = \frac{x}{v_0 cos(\alpha)}$$

Donc :

$$y(x) = -\frac{1}{2}g\frac{x^2}{v_0^2 cos^2(\alpha)} + tan(\alpha).x + h$$

Q.9. Le gardien étant situé à 4,0 m du tireur, déterminer si le « jet de 7 mètres » étudié permet de marquer un but. On considère que le gardien peut atteindre avec son bras levé une hauteur maximale de 2,8 m en plein saut.

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.

Premièrement on peut passer les données de l'équation de la trajectoire en valeurs :

$$y(x) = -0{,}11x^2 + 0{,}59x + 2{,}34$$

Pour $x = 4\,m$ on la hauteur :

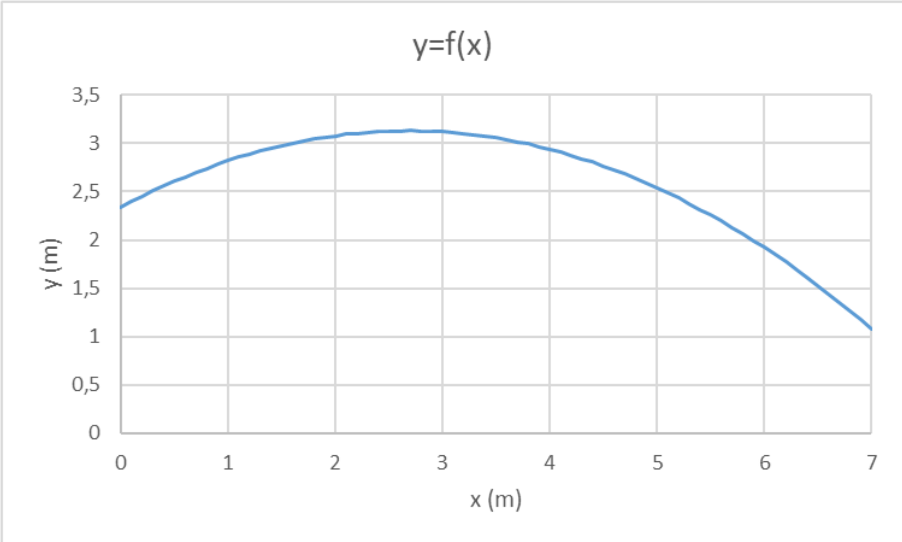
$$y_{max} = -0{,}11.4^2 + 0{,}59.4 + 2{,}34 = 2{,}94\,m$$

Ce qui est au-dessus des 2,8 m atteignables par le gardien.

Ensuite on sait que la balle doit arriver avec une hauteur inférieure à 2 m au bout des 7 m. On calcule donc :

$$y_{7\,m} = -0{,}11.7^2 + 0{,}59.7 + 2{,}34 = 1{,}08\,m$$

En traçant la trajectoire on a :



Non seulement la balle passe au-dessus du gardien, mais en plus elle rentre dans le but, ce qui est parfait !