

BACCALAURÉAT BLANC

DE PHYSIQUE-CHIMIE

– SÉRIE S –

Durée de l'épreuve : 3 h 30.
Les calculatrices sont **AUTORISÉES**

Coefficient : 8

Ce sujet comporte 1 exercice de CHIMIE et 2 exercices de PHYSIQUE.

Vous utiliserez 1 copie par exercice.

Le candidat doit traiter les trois exercices. La clarté des raisonnements et la qualité de la rédaction interviendront pour une part importante dans l'appréciation des copies.

N° exercice	Titre	Points	Énoncé pages
1	Les dangers de l'alcool	6	2–5
2	Remise en orbite de la station spatiale internationale par un « Cargo Progress »	9	6–9
3	Du clairon à la trompette	5	10–11

Exercice n°1 – Les dangers de l'alcool (6 points)

Document 1

On trouve dans un document publié par l'Institut suisse de prévention de l'alcoolisme (ISPA) les informations suivantes :

Quand une personne consomme de l'alcool, celui-ci commence immédiatement à passer dans le sang. Plus le passage de l'alcool dans le sang est rapide, plus le taux d'alcool dans le sang augmentera rapidement, et plus vite on sera ivre. L'alcool est éliminé en majeure partie par le foie. Dans le foie, l'alcool est éliminé en deux étapes grâce à des enzymes. Dans un premier temps, l'alcool est transformé en éthanal par l'enzyme alcool déshydrogénase (ADH). L'éthanal est une substance très toxique, qui provoque des dégâts dans l'ensemble de l'organisme. Il attaque les membranes cellulaires et cause des dommages indirects en inhibant le système des enzymes. Dans un deuxième temps, l'éthanal est métabolisé par l'enzyme acétaldéhyde déshydrogénase (ALDH).

Alcool pur : Ethanol : C_2H_6O

↓ Enzyme ADH

Ethanal C_2H_4O

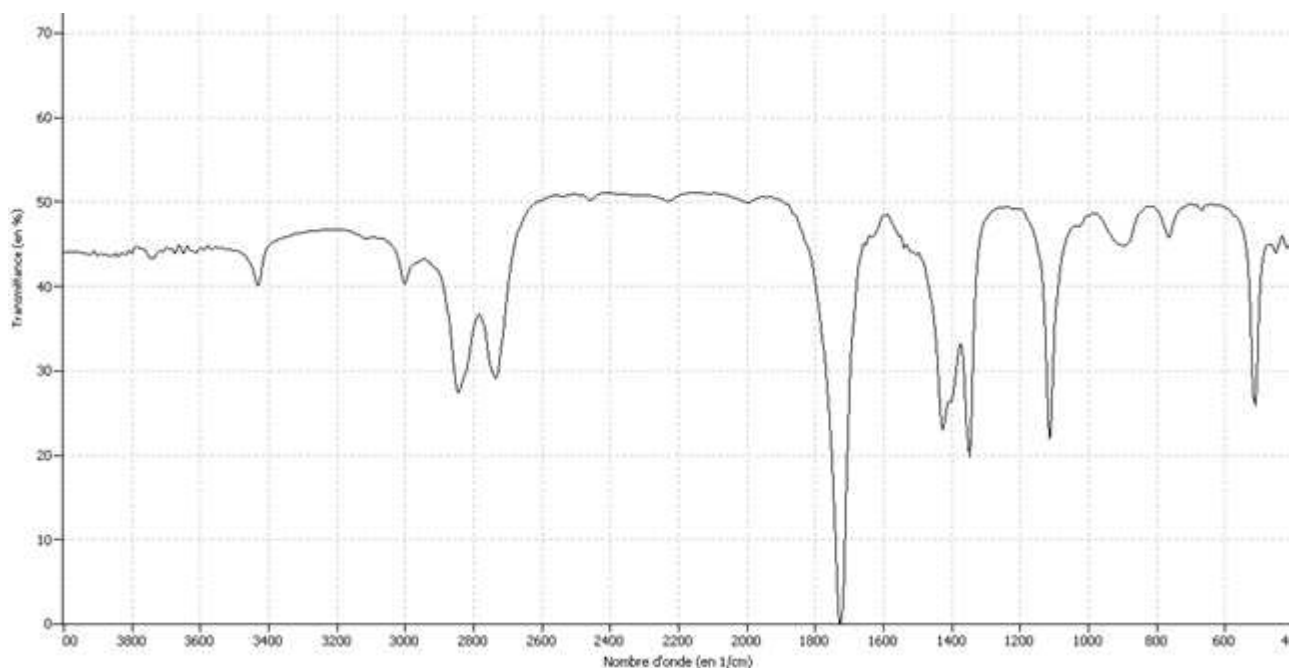
↓ Dégradation ultérieure...

Synthèse du cholestérol

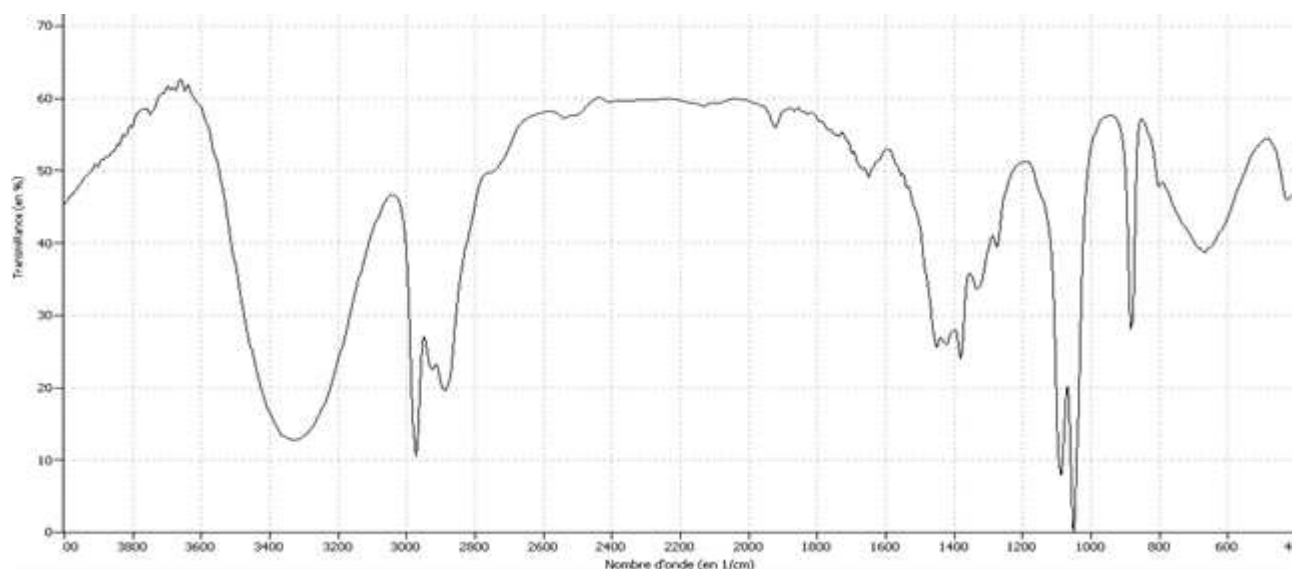
www.sfa-ispa.ch

Partie n°1 : Spectroscopie

On se propose d'étudier la structure et les fonctions organiques de ces molécules par spectroscopie.



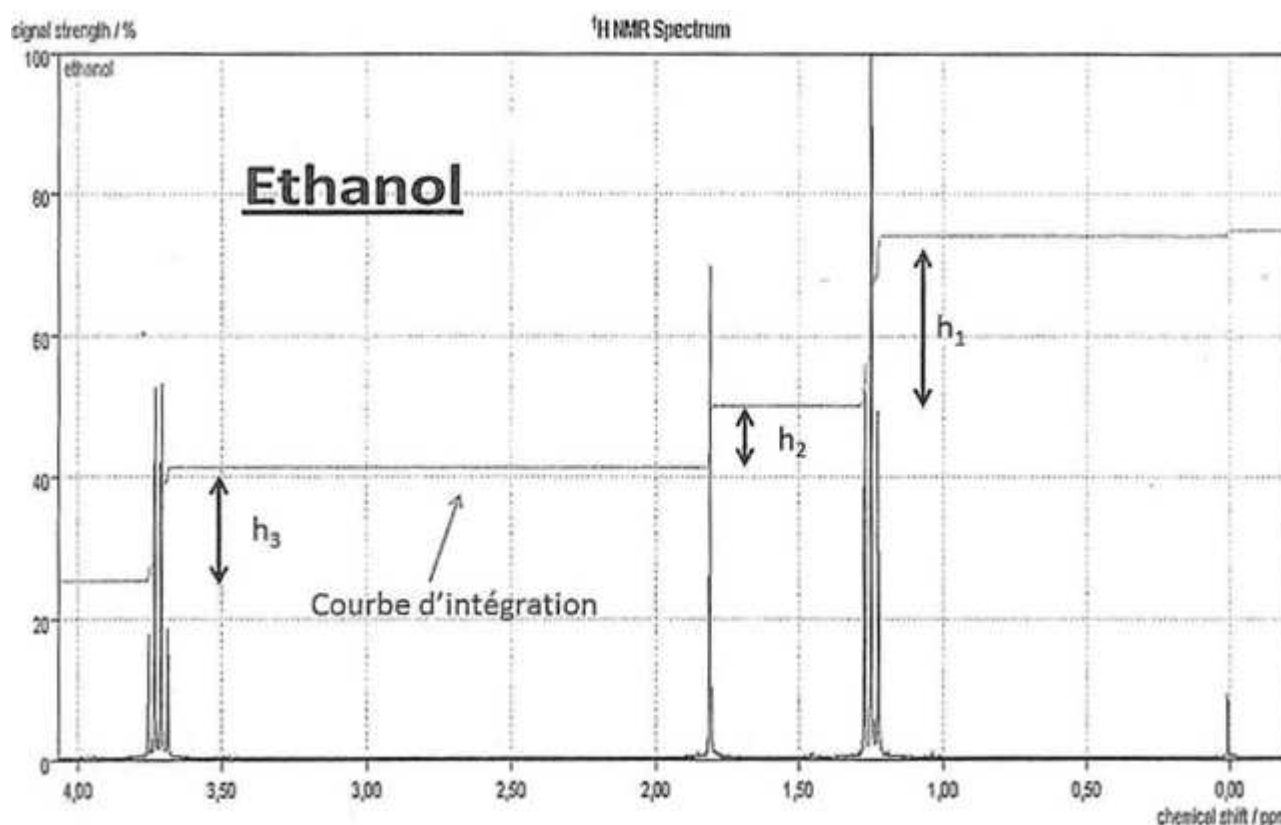
Document 2a : Spectroscopie Infrarouge en phase liquide. Spectre IR1



Document 2b : Spectroscopie Infrarouge en phase liquide. Spectre IR2

Liaison	C-C	C-O	C=O (carbonyle)	C-H	O-H
Nombre d'onde (cm^{-1})	1000-1250	1050-1450	1650-1740	2800-3000	3200-3700

Document 2c : Table de données pour la spectroscopie IR



Document 3 : Spectre de RMN de l'éthanol

- 1.1. Le document 1 évoque les molécules d'éthanol et d'éthanal : représenter en formule semi-développée ces deux molécules et encadrer leurs fonctions caractéristiques.
- 1.2. Quel est le nom du groupe fonctionnel porté par l'éthanol ? À quelle famille appartient cette molécule ?
- 1.3. Quel est le nom du groupe fonctionnel porté par l'éthanal ? À quelle famille appartient cette molécule ?

- 1.4. En utilisant les données spectroscopiques du document 2, associer chaque spectre infrarouge (IR) à la molécule correspondante en justifiant.
- 1.5. Le document 3 présente le spectre RMN de l'éthanol. En utilisant la courbe d'intégration, calculer les rapports h_1/h_2 et h_3/h_2 .
- 1.6. Utiliser les rapports calculés pour associer aux trois massifs du spectre, les groupes de protons équivalents de l'éthanol.
- 1.7. Le massif de pics situé au déplacement chimique 1,25 ppm se présente sous la forme d'un triplet. En utilisant la règle des (n+1)-uplets, justifier cette multiplicité en évoquant le nombre d'atomes d'hydrogène voisins.

Partie n°2 : Contrôle de qualité d'un vin : dosage par spectrophotométrie de l'éthanol.

On peut lire dans le code de la santé publique depuis juin 2000 : catégorie Vins doux : vins, apéritifs à base de vin ne titrant pas plus de 18 degrés.

On se propose de vérifier en laboratoire si un vin obéit à cette législation.

Définition : Le titre alcoométrique, exprimé en degré, est égal au nombre de litres d'éthanol contenus dans 100 litres de vin.

Données : $M(\text{éthanol}) = 46,0 \text{ g} \cdot \text{mol}^{-1}$; $\mu(\text{éthanol}) = 0,78 \text{ g} \cdot \text{ml}^{-1}$

Afin de procéder au contrôle, on réalise le titrage par spectrophotométrie du vin en suivant le protocole suivant :

- Première étape :
On recueille l'éthanol du vin par distillation.
- Deuxième étape :
L'éthanol est oxydé par la NAD^+ dans une réaction catalysée par une enzyme. La réaction produit de la nicotinamide-adénine-dinucléotide réduite (NADH) en quantité de matière égale à celle de l'éthanol dosé selon l'équation : $\boxed{\text{Ethanol} + \text{NAD}^+ \rightarrow \text{Ethanal} + \text{NADH} + \text{H}^+}$
- Troisième étape :
La NADH absorbant dans le domaine UV, on mesure son absorbance par spectrophotométrie.

L'étalonnage du spectrophotomètre avec différentes solutions d'éthanol permet de vérifier la loi de Beer-Lambert : $A = k \cdot C_m$ avec $k = 1,6 \times 10^{-3} \text{ L} \cdot \text{mg}^{-1}$ et C_m la concentration massique d'éthanol dans l'échantillon.

Réalisation de la mesure :

- On distille 10 mL de vin ; le distillat est ensuite ajusté à 100 mL avec de l'eau distillée pour obtenir une solution appelée S.
- On prépare l'échantillon à doser par spectrophotométrie en introduisant dans une fiole jaugée de 100 mL :
 - 1 mL de solution S,
 - le catalyseur,
 - NAD^+ en excès,
 - On complète avec de l'eau distillée.
- L'absorbance mesurée pour cet échantillon vaut : $A_e = 0,15$.

- 2.1.** Déterminer à partir de l'absorbance mesurée A_e , la concentration massique C_m en éthanol de l'échantillon étudié.
- 2.2.** En tenant compte des deux dilutions successives, calculer les concentrations massiques en éthanol suivantes :
- 2.2.1.** C_S dans la solution S.
- 2.2.2.** C_V dans le vin.
- 2.3.** Quelle est la valeur du titre alcoométrique exprimé en degrés du vin ?
- 2.4.** Ce vin est-il conforme au code de la santé publique ?

Exercice n°2 – Remise en orbite de la station spatiale internationale par un « Cargo Progress » (9 points)

Les quatre parties de cet exercice sont indépendantes les unes des autres et peuvent être faites dans l'ordre que vous souhaitez.

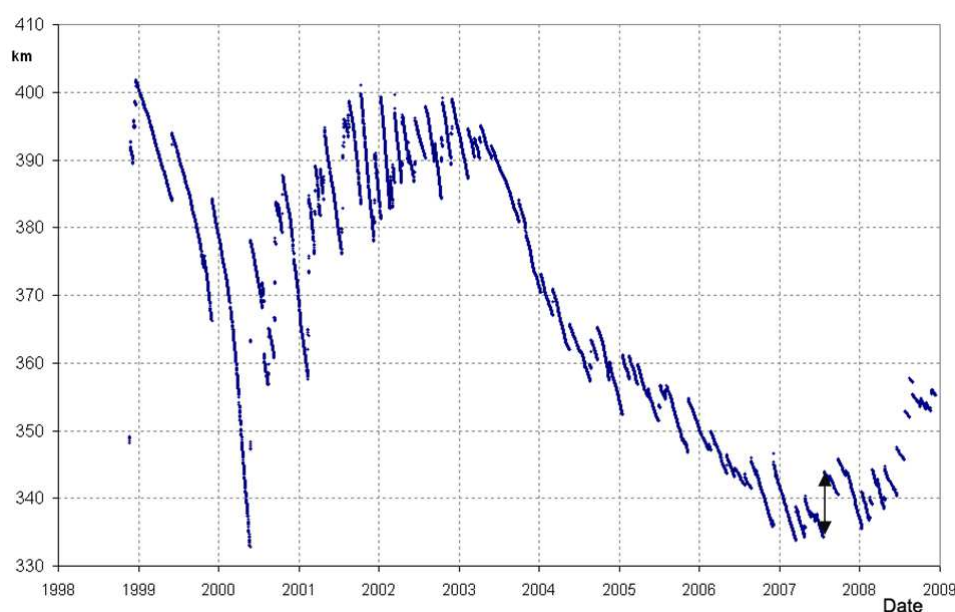
La station spatiale internationale (ISS) est un laboratoire scientifique international qui gravite autour de la Terre sur une orbite elliptique à des altitudes allant de 340 km à 420 km. Sa construction a débuté en 1998 et elle est toujours, à ce jour, en développement. Seize pays participent au projet ISS et le financent.

La mission de l'ISS, initialement prévue jusqu'en 2016, a été une première fois prolongée de 4 ans, jusqu'en 2020. La NASA a annoncé mercredi 8 janvier 2014 que la mission était une nouvelle fois prolongée de 4 ans : nous verrons donc l'ISS passer au dessus de nos têtes au moins jusqu'en 2024.

La station, d'une masse actuelle de 419 tonnes et de 110 mètres de longueur pour 74 mètres de largeur, avec un espace habitable équivalent à un Boeing 747, est en permanence occupée par un équipage de six astronautes, effectuant des rotations allant de trois à six mois.

Durant la première décennie des années 2000, le ravitaillement et la relève de l'ISS étaient effectués essentiellement par les navettes de la NASA. Depuis l'arrêt de leur exploitation en août 2011, des fusées « cargo » ont pris le relais : principalement le cargo « Progress » russe lancé par une fusée Soyouz, mais aussi le cargo « ATV » européen lancé par la fusée Ariane, ou encore le cargo « HTV » japonais lancé par la fusée H-IIB. Ces modules cargo doivent non seulement permettre de monter des vivres, du matériel de maintenance et du matériel scientifique, mais doivent aussi parfois rehausser l'orbite de la station spatiale régulièrement dégradée par la traînée atmosphérique. A cette altitude, la densité des gaz est en effet très faible mais suffisante pour faire perdre un peu d'énergie à la station et celle-ci descend de 50 à 100 mètres par jour. Il faut donc régulièrement qu'un vaisseau muni de moteurs s'arrime à la station et la remonte sur son orbite initiale. Si cela n'est pas fait, la station risque de rentrer dans les couches plus denses de l'atmosphère et, vue sa très grande vitesse (plusieurs km/s), de se désintégrer sous l'effet de la chaleur.

Le graphique suivant montre les changements d'altitude moyenne de la station de 1998 à 2009 : on peut constater que son altitude a été rehaussée un grand nombre de fois (*exemple voir flèche sur le schéma*).



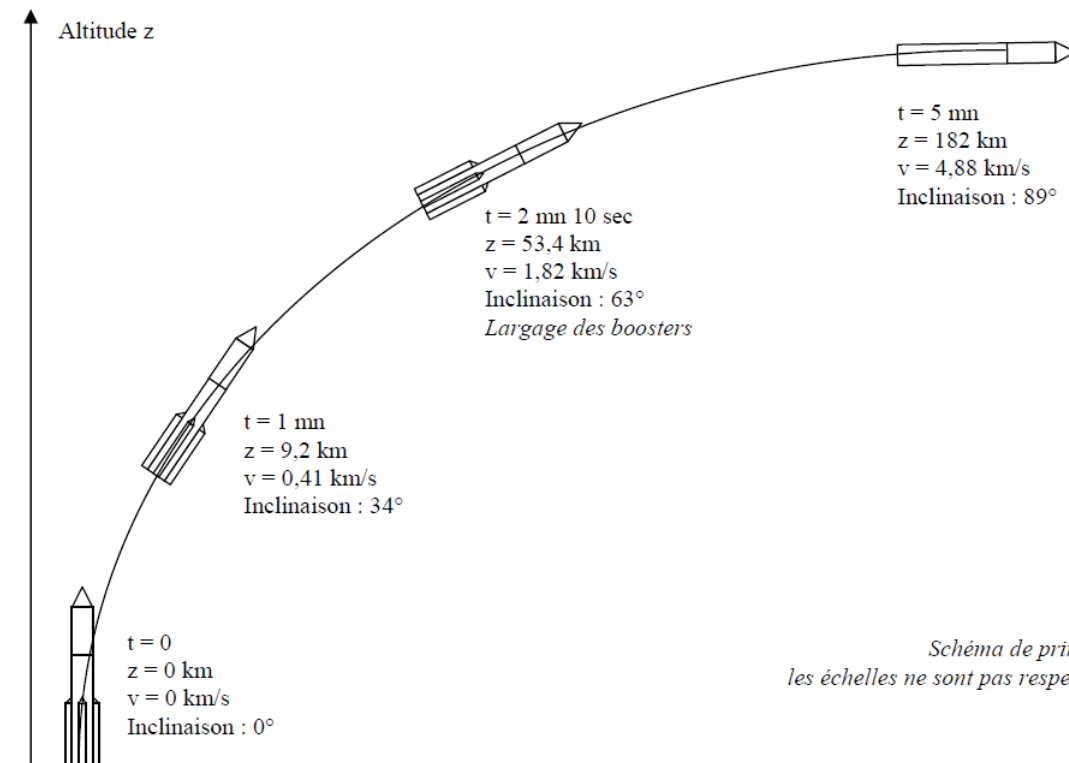
Source: [http://commons.wikimedia.org/wiki/File:Internationale_Raumstation_Bahnh%C3%B6he_\(french\).png](http://commons.wikimedia.org/wiki/File:Internationale_Raumstation_Bahnh%C3%B6he_(french).png)

On se propose dans cet exercice d'étudier trois phases distinctes d'une mission exécutée par un vaisseau russe « Soyouz – Progress » pour aller rehausser l'altitude de l'ISS. Il s'agit d'une mission réelle lancée le 2 août 2007 du cosmodrome de Baïkonour.

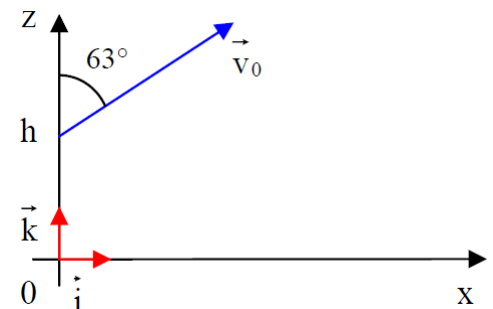
Partie 1 : Décollage de la fusée Soyouz

La fusée Soyouz est un lanceur russe dont la conception remonte aux années 1960 mais toujours utilisé aujourd'hui. Bien que d'une conception ancienne, il s'agit du lanceur ayant le plus fort taux de réussite, avec près de 98% sur plus de 1700 lancements !

Une fusée Soyouz est constituée d'un corps cylindrique de 51 mètres de haut entouré de quatre boosters de 19,6 mètres de haut. Ces boosters sont destinés à emporter la fusée durant la phase de décollage, mais consomment très rapidement plus de 150 tonnes de carburant qu'ils contiennent et se détachent du corps de la fusée après seulement 2 minutes et 10 secondes de vol. Nous allons étudier ici la trajectoire d'un booster après qu'il se soit détaché de la fusée.



Soit le repère $(O; \vec{i}; \vec{k})$ lié au sol à la verticale de l'endroit où est lâché le booster. Il pourra être considéré comme galiléen pour l'étude suivante. Le booster étudié sera assimilé à son centre de gravité G . A l'instant t_0 (130 secondes après le décollage), il est décroché de la fusée avec une vitesse initiale $v_0 = 1,82 \text{ km} \cdot \text{s}^{-1}$ et son vecteur vitesse fait alors un angle de 63° avec la verticale. (voir figure ci-contre)



Cette séparation est effectuée à une altitude $h = 53,4 \text{ km}$. A cette altitude, la densité de l'atmosphère est très faible et nous pouvons négliger l'influence des frottements sur le booster. Par ailleurs, la valeur de l'intensité de la pesanteur à cette altitude pourra être considérée comme constante et égale à $9,6 \text{ m} \cdot \text{s}^{-2}$.

- 1.1. Établir un bilan des forces appliquées au booster après le décrochage de la fusée.
- 1.2. Appliquer vectoriellement la deuxième loi de Newton au centre de gravité du booster, et en déduire les coordonnées du vecteur accélération a_G .
- 1.3. Déterminer les coordonnées du vecteur vitesse du booster au cours de sa chute.
- 1.4. Établir les équations horaires décrivant la trajectoire du booster lâché.

1.5. Déterminer l'équation de la trajectoire du booster.

1.6. Que dire de la vitesse du booster au sommet de sa trajectoire ? En déduire l'altitude maximale qu'atteint le booster avant de commencer à retomber.

Partie 2 : Étude de la propulsion chimique durant le décollage

Les boosters de la fusée Soyouz emporte 120 tonnes de comburant, le tétraoxyde d'azote N_2O_4 , et un combustible organique, la diméthylhydrazine $C_2H_8N_2$. Lors de la combustion, du dioxyde de carbone, de l'eau et du diazote se forment.

Masses molaires atomiques :

$$M(H) = 1,00 \text{ g} \cdot \text{mol}^{-1}; M(C) = 12,0 \text{ g} \cdot \text{mol}^{-1}; M(N) = 14,0 \text{ g} \cdot \text{mol}^{-1}; M(O) = 16,0 \text{ g} \cdot \text{mol}^{-1}$$

2.1. Pourquoi la fusée doit-elle embarquer son comburant, contrairement à une automobile ?

2.2. Écrire l'équation de la réaction de la combustion de la diméthylhydrazine par le tétraoxyde d'azote et montrer que la quantité de matière de tétraoxyde d'azote consommée est le double de la quantité de matière de diméthylhydrazine consommée.

2.3. Exprimer puis calculer la quantité de matière de diméthylhydrazine qui peut être consommée par la totalité du comburant embarqué.

2.4. En déduire la masse totale de combustible et de comburant contenue dans les boosters.

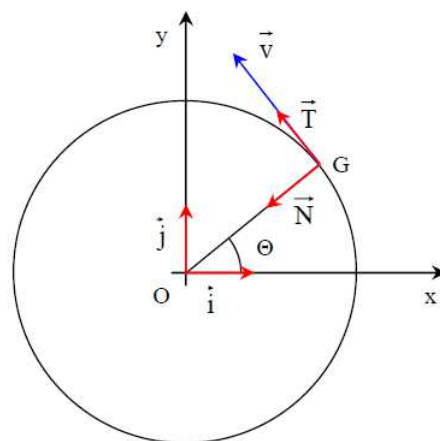
Partie 3 : Mise en orbite basse du vaisseau Progress

Une fois les boosters séparés, la fusée continue son ascension grâce au moteur de l'étage n°2 qui fonctionne durant 2 minutes 40 secondes. Puis cet étage est lâché aussi et le moteur de l'étage n°3 se met en route, avant que celui-ci ne soit lâché à son tour. Finalement, la coiffe de la fusée libère le vaisseau Progress, lui aussi muni d'une propulsion à réaction, et qui va seul se placer sur l'orbite de l'ISS.

Début août 2007, l'orbite de l'ISS avait pour altitude (trop basse) de $z = 334 \text{ km}$. Nous considérerons cette orbite comme circulaire.

Le repère de Frenet est un repère plan dont l'origine est le centre de gravité du système considéré, et les deux vecteurs orthonormaux $\vec{T}$ et $\vec{N}$ sont respectivement « tangents à la trajectoire circulaire et dans le sens du mouvement » et « radial et centripète ».

- Masse de la Terre : $M_T = 5,98 \times 10^{24} \text{ kg}$
- Rayon de la Terre : $R_T = 6300 \text{ km}$
- $G = 6,67 \times 10^{-11} \text{ N} \cdot \text{m}^2 \cdot \text{kg}^{-2}$



3.1. Donne l'expression vectorielle dans le repère de Frenet de la force d'attraction gravitationnelle exercée par la Terre sur le vaisseau Progress situé en orbite circulaire autour de la Terre à l'altitude $z = 334 \text{ km}$.

3.2. Sachant que le vecteur accélération du centre de gravité du vaisseau Progress est radial, centripète et de norme $a = \frac{v^2}{R_T + z}$, appliquer la deuxième loi de Newton et montrer que l'expression de la vitesse du vaisseau vaut $v = \sqrt{\frac{GM_T}{R_T + z}}$.

3.3. Calculer la vitesse v

Le vaisseau Progress effectue plusieurs révolutions à la même altitude que la station ISS avant de s'y arrimer.

- 3.4. Définir la période de révolution T du vaisseau Progress.
- 3.5. Exprimer cette période en fonction de la vitesse v et de la distance $R_T + h$.
- 3.6. Combien de révolution autour de la Terre le vaisseau Progress fait-il en 24 heures ?
- 3.7. À partir des réponses aux questions 3.2 et 3.5, retrouver la 3^{ème} loi de Kepler.

Partie 4 : Rehaussement de l'orbite de l'ISS

Une fois amarré à la station, le vaisseau Progress doit la remonter jusqu'à l'altitude 345 km. Pour cela, il doit augmenter la vitesse de la station sur son orbite de $25 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$.

Le vaisseau Progress pèse 7,1 tonnes, dont 3,8 tonnes de carburant destiné à cette opération de remorquage. Son moteur peut éjecter 5,6 kg de gaz par seconde à la vitesse, constante par rapport à l'échappement du vaisseau, de $3300 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$. La station orbitale, avec le vaisseau Progress amarré, pèse 426 tonnes. Une fois en orbite, on peut considérer le système « ISS + Progress + carburant » comme isolé.

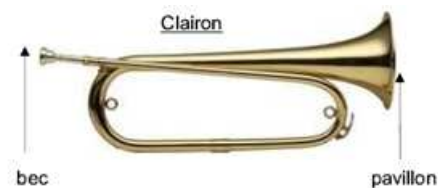
- 4.1. Rappelle l'expression vectorielle de la quantité de mouvement d'un système de masse m se déplaçant à la vitesse v .
- 4.2. Que peut-on dire de la quantité de mouvement d'un système mécanique isolé ?
- 4.3. En considérant que le vaisseau Progress éjecte l'ensemble des gaz correspondant à la combustion de tout son carburant, déterminer l'élévation de vitesse du système « ISS + Progress ».
- 4.4. Cette variation de vitesse est-elle suffisante pour faire remonter la station sur son orbite initiale ? Justifier.

Exercice n°3 – Du clairon à la trompette (5 points)

Document 1 : Le clairon

Le clairon est l'un des instruments les plus simples de la famille des cuivres. Il est constitué d'un tube conique replié sur lui-même, long d'environ 1,2 m. Les deux extrémités de ce tube sont le bec et le pavillon. Sa fréquence fondamentale est de 131 Hz, mais la note correspondante est difficile à produire. En ajustant la tension de ses lèvres, le musicien peut en revanche jouer les deux harmoniques suivant le fondamental.

Ces sons sont bien des notes de la gamme tempérée (voir document 4), mais entre les deux premières fréquences jouables du clairon il manque six notes.



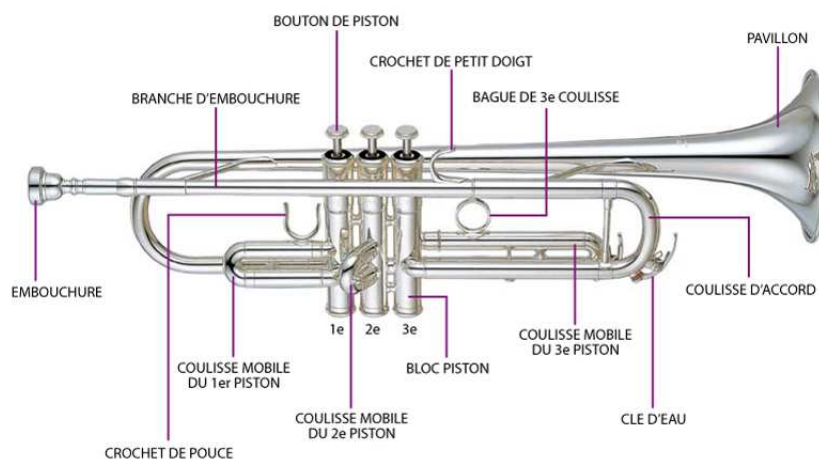
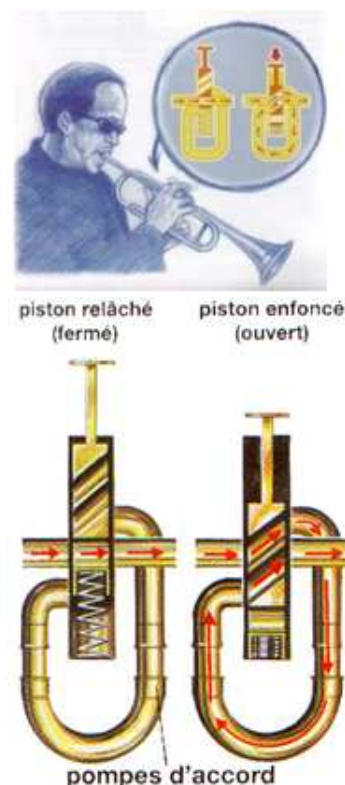
Document 2 : La trompette

Dans une trompette, un piston actionné bouche le tuyau principal et ouvre une dérivation vers une coulisse. L'onde sonore doit ainsi parcourir une longueur de tube supplémentaire. La trompette a trois pistons, qui libèrent des coulisses de longueurs égales respectivement à environ 12, 6 et 18 pour cent de la longueur du corps principal.

[...] Par combinaisons, on produit six notes supplémentaires, les six notes qui manquaient à notre clairon entre la première et la seconde !

D'après des extraits tirés du livre « La physique buissonnière » de Jean-Michel Courty et Edouard Kierlik.

La trompette naturelle est fabriquée dans un tuyau d'environ 1,5 m de long et constituée par l'embouchure, le tube (ou perce) et le pavillon. La perce est cylindrique, ce qui lui donne un son brillant. La coulisse d'accord (ou/et les pompes d'accord) permet comme son nom l'indique d'affiner la justesse de l'instrument ; par exemple $L = 1,46$ m pour le $\text{la}\#_1$. Cet instrument est encore employé dans la musique baroque sur des instruments anciens, et dans la musique militaire.



Document 3 : Modes de vibration d'un tuyau sonore

Dans un instrument à vent, les ondes de vibrations de la colonne d'air se propagent dans l'axe principal du tube. Pour un tube de longueur L , ouvert aux deux extrémités, les fréquences des ondes stationnaires sont données par la formule $f_n = \frac{n \cdot v}{2L}$ avec $n=1, 2, 3$, etc... où v est la valeur de la vitesse du son dans l'air.

Suivant la position des lèvres, le musicien peut exciter, pour une longueur donnée, soit le mode fondamental ($n=1$) soit ses harmoniques ($n=2, 3 \dots$)

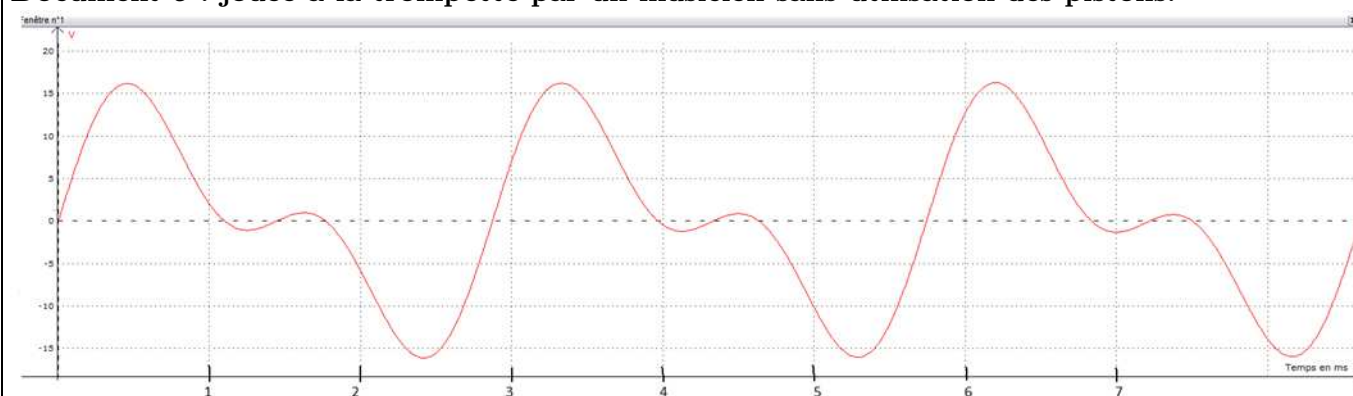
Document 4 : La gamme tempérée

On donne ci-dessous le tableau permettant d'établir la correspondance entre la hauteur et la fréquence associée de quelques notes de la gamme tempérée. Douze notes sont placées sur une octave qui est alors divisée en douze intervalles appelés demi-tons.

Hauteur de la note	la ₂	la# ₂	si ₂	do ₃	do# ₃	ré ₃	ré# ₃	mi ₃	fa ₃	fa# ₃	sol ₃	sol# ₃	la ₃	la# ₃	si ₃
Fréquence Hz	220	233	247	262	277	294	311	330	349	370	392	416	440	466	494

Deux notes successives dans le tableau, par exemple si₂ et do₃, sont séparées par une hauteur de demi-ton en musique ce qui correspond à un rapport en fréquence de : $\frac{261}{247} = \sqrt[12]{2} = 2^{\frac{1}{12}} = 1,06$.

Deux notes sont à l'octave l'une de l'autre si le rapport de leurs fréquences vaut 2 : par exemple la note la₄ est à l'octave supérieure de la note la₃ car : $\frac{880}{440} = 2$.

Document 5 : jouée à la trompette par un musicien sans utilisation des pistons.

Données : Axe des abscisses gradué en ms ; Valeur de la vitesse du son dans l'air : $340 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$

Questions préalables :

1. Quelles sont les notes jouées par un musicien avec un clairon ? Argumenter votre réponse.
2. Pourquoi peut-on obtenir huit notes avec une trompette ? Votre réponse sera argumentée.
3. Le trompettiste tente de jouer un fa₃, sans utiliser les pistons ! A l'aide du document 5, vérifier si la note jouée est juste.
Pour jouer cette note le musicien a produit une excitation de l'air produisant une onde stationnaire qui correspond à un certain mode de vibration, s'agit-il du mode fondamental ? si non préciser ce mode de vibration.

Problème : En n'actionnant aucun piston d'une trompette, un musicien joue un fa₃. Il enfonce les trois pistons, arrivera-t-il à produire la même note à l'octave ?

- Vous démontrerez de quel intervalle est modifiée la note si seul le piston numéro 2 est actionné et préciserez alors la note jouée. Et vous réitérerez votre démarche en considérant le seul piston 3 actionné.
- Vous expliquerez alors votre démarche pour répondre au problème posé. Celle-ci sera rigoureuse, les calculs posés etc...