

CAPES BLANC 2014-2015

Attention, Achtung, Cuidadod : Il est **impératif** de lire attentivement tout l'énoncé avant de commencer à rédiger. En effet, beaucoup de questions possèdent une réponse dans l'énoncé même (pas forcément tout à côté, c'est pourquoi il faut tout lire). La présentation de résultats numériques doit se faire obligatoirement avec des **unités** ! Les parties sont indépendantes les unes des autres. Les documents sont bien évidemment interdits, les calculatrices sont autorisées, les appareils électroniques connectés entre eux ou en réseau sont absolument prohibés. La durée est de 5 heures.

PARTIE A: UN PEU DE MÉCANIQUE DU POINT

I. Go or no go

Vous trouverez en annexe un jeu scientifique tiré de la revue **Cosinus** (février 2015), magazine scientifique à destination des collégiens et lycéens dont l'objectif est "de développer la curiosité des jeunes à partir du collège pour les sciences dont ils voient tous les jours les applications : sciences de la terre, biologie, physique, chimie et astronomie." (<http://www.cosinus-mag.com/>). Le sujet traite de la difficulté de poser un robot sur une comète, et prends bien évidemment comme référence Tchoury et Philaé.

II. Lisons le document

Vous répondrez à l'ensemble des questions de ce jeu scientifique.

Précisions :

- Ce qui apparaît en gras dans le texte ne correspond pas à des vecteurs.
- Dans les données, R est la distance entre le point où l'on cherche la gravité et le centre de masse de l'astre, ou de la partie de l'astre en question.
- Dans de nombreuses questions, les dessins seront bienvenus !
- A partir de la question 2 de la section "Une puce sur la tête", vous considérerez que Tchoury est un astre unique, de masse $m_A + m_B$ et de centre de masse le point O que vous aurez déterminé à la question précédente.

III. Quelques éléments fondamentaux de mécanique céleste

Un certain nombre de notions sont introduites dans ce jeu scientifique. Les questions qui suivent doivent les justifier.

III.1. Rappeler ce qu'est un référentiel ? un repère ?

III.2. Rappeler les 3 lois de Newton en mécanique classique.

III.3. Rappeler ce qu'est un référentiel galiléen ?

III.4. Qu'est-ce qu'une force de gravitation ? Pourquoi est-ce que la gravité dans ce problème vaut $g = \frac{GM}{R^2}$? Faites un dessin clair en y précisant ce que valent M et R .

III.5. Rappeler la définition du centre de masse d'un objet multimasses, et réécrivez sous forme vectorielle la question 1 de la section "Une puce sur la tête".

III.6. Qu'est-ce qu'une force centrifuge ? Proposer un exemple simple justifiant qu'elle s'écrit $a_{cen} = \omega^2 R$. Pourquoi doit-on la "retrancher" à la gravité ?

III.7. Définir les notions d'énergie potentielle, d'énergie cinétique, d'énergie mécanique, de forces conservatives. En prenant comme exemple un simple ressort en position verticale, de raideur k au bout duquel une masse m ponctuelle est accrochée, établissez les énergies cinétique, potentielle et mécanique de ce simple système mécanique. Etablir l'équation différentielle du mouvement, et donner sa solution générale, grâce à cette approche énergétique.

III.8. Définir la vitesse de libération. Prouver par une approche énergétique qu'elle peut s'écrire sous la forme $V = \sqrt{2Rg}$

III.9. Pourquoi la vitesse latérale de la question 5 de la section "Une puce sur la tête" est-elle écrite sous la forme $V = R\omega$? Retrouvez cette expression en vous justifiant.

III.10. On peut modéliser les amortisseurs de Philaé en ajoutant en série un "pot" visqueux au système masse-ressort de la question précédente. Par une approche vectorielle, établissez l'équation différentielle gouvernant le mouvement de la masse m . Quelles sont les différentes solutions? Quels sont les mouvements associés?

PARTIE B: QUELQUES ÉLÉMENTS ÉNERGÉTIQUE EN ATOMISTIQUE (EN FAIT C'EST DE LA PHYSIQUE QUANTIQUE, MAIS IL PARAÎT QUE ÇA FAIT PEUR DE LE DIRE COMME ÇA....)

I. Valeurs numériques à connaître, lois importantes et autres psycho-rigidités du correcteur

I.1. Définir ce qu'est une constante fondamentale en physique.

I.2. Donner la valeur numérique des constantes suivantes, en précisant si elles vous semblent être fondamentales ou non :

c_0 vitesse de la lumière dans le vide, \mathcal{R} constante des gaz parfaits, \mathcal{N} nombre d'Avogadro, k_B constante de Boltzman, ε_0 permittivité diélectrique du vide, \mathcal{G} constante de gravitation universelle, m_e masse de l'électron, m_p masse du proton, e charge électrique élémentaire, R_H constante de Rydberg, α_0 constante de structure fine, t_H âge de l'Univers, t_P temps de Planck, R_T rayon de la Terre, D_s ordre de grandeur de la taille du système solaire, a_0 rayon de Bohr.

I.3. On rappelle la loi de Stefan ou Stefan-Boltzmann qui relie la puissance de rayonnement, P_s , émise **par unité de surface**, par un corps noir à sa température absolue, T :

$$P_m = \sigma T^4$$

P_m est appelée aussi "exitance". C'est une puissance par unité de surface.

En utilisant vos connaissances ou en exploitant les données du sujet, donner la valeur numérique de σ .

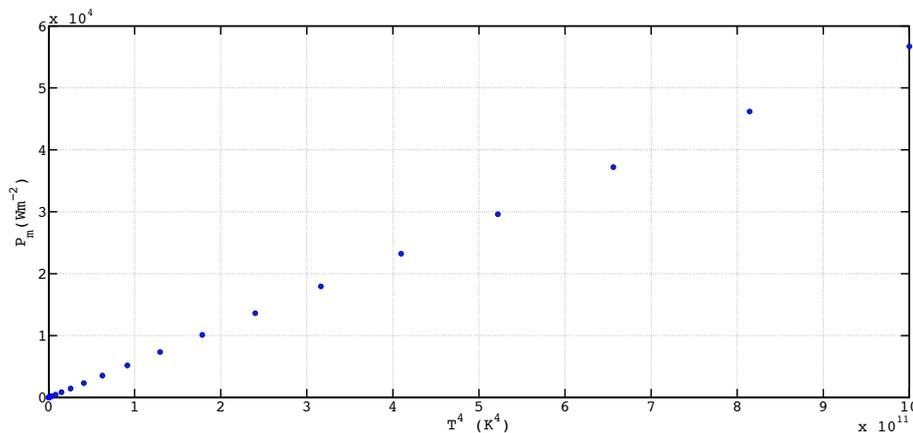


FIGURE 1 – Courbe expérimentale $P_m(W.m^{-2})$ en fonction de $T^4(K^4)$

I.4. On rappelle la loi de Wien qui relie la longueur d'onde λ_m et la température T_m pour lesquelles la densité d'énergie interne volumique par unité de longueur d'onde du corps noir $u_\lambda(\lambda, T)$ est maximale :

$$\lambda_m T_m = K \text{ où } K \text{ est une constante}$$

En utilisant vos connaissances ou en exploitant les données du sujet, donner la valeur numérique de la constante K .

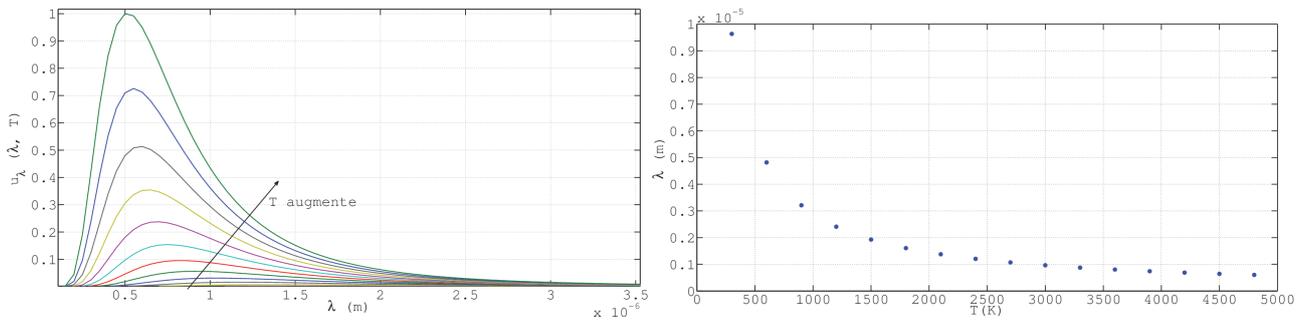


FIGURE 2 – A gauche courbe expérimentale représentant la densité volumique d'énergie interne par unité de longueur d'onde $u_\lambda(\lambda, T)$ en unités arbitraires, en fonction de la Température T en Kelvin. A droite, courbe expérimentale représentant les maximum de la courbe de gauche : $\lambda_m(m)$ en fonction de $T_m(K)$

I.5. En justifiant votre réponse, vous proposerez le nom d'un enseignant qui a posé cette partie de l'épreuve.

II. Relations d'incertitude et aspects ondulatoires de la matière

- II.1. Donner la relation d'incertitude d'Heisenberg en impulsion/position.
- II.2. Donner la relation d'incertitude d'Heisenberg en énergie/temps.
- II.3. Donner une interprétation claire et précise de ces relations.
- II.4. Donner la relation définissant la longueur d'onde de de Broglie λ_B .
- II.5. En donner une interprétation claire et précise.
- II.6. Faire une application numérique pour un électron thermique à température ambiante.

III. Sachons lire et analyser des documents

Chahine ABBAS, étudiant en Physique en 2009-2013 à l'Université d'Avignon a proposé deux dessins pour illustrer les deux Unités d'Enseignement "Ondes et Vibrations" et "Physique Quantique". Ces deux dessins sont reproduits dans la figure 3 sous le nom document A, document B.



FIGURE 3 – A gauche le document A, à droite le document B

- III.1. En justifiant votre réponse, vous explicitez, pour chacun de ces documents, l'Unité d'Enseignement qu'il est sensé illustrer.
- III.2. Comment s'appelle l'équation du document A ? Que décrit cette équation, que signifient les quantités physiques c et u , bref expliquer la signification physique de cette équation.
- III.3. Mêmes questions pour l'équation du document B : on prendra soin d'expliquer la signification physique

de \hbar , m , E , V et Ψ

III.4. De quelle nationalité était Jean le Rond d'Alembert ? Quand a-t-il vécu ?

III.5. De quelle nationalité était Erwin Schrödinger ? Quand a-t-il vécu ?

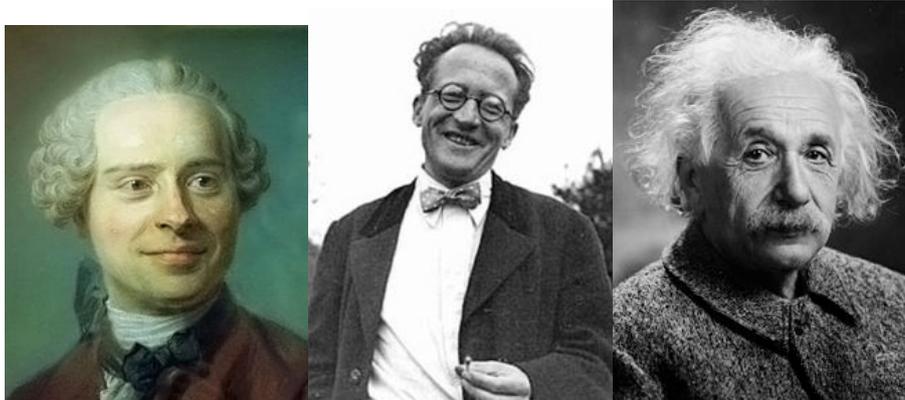


FIGURE 4 – *A gauche, portrait de D'Alembert par Grégoire de La Tour (daté de 1753), au milieu photographie d'Erwin Schrödinger (datée de 1933), à droite photographie d'un chevelu à moustache (datée de 1947)*

III.6. Il est de coutume de dater l'avènement de la mécanique quantique par l'interprétation de l'expérience de l'effet photo-électrique.

III.6. a. Quels sont le siècle et la décennie où l'effet photo-électrique a été découvert ?

III.6. b. Décrire rapidement et succinctement cette expérience, en vous aidant de schémas et de représentations de courbes expérimentales.

III.7. En 1905, une trentaine d'années après la première expérience, un physicien à moustache propose une interprétation de cet effet, ce qui lui vaut le prix Nobel de Physique.

III.7. a. Citer trois franchises de coiffeurs, deux marques de laque et deux marques de gel, qui auraient pu l'aider à paraître moins vieux.

III.7. b. Comment s'appelle ce physicien dont la traduction littérale du nom en français signifie "Unepierre" ? A quelle époque a-t-il vécu ? De quelle(s) nationalité(s) était-il ?

III.7. c. Quelle est la formule sur l'énergie associée à l'interprétation qui lui a valu le prix Nobel sur l'effet photoélectrique ?

III.8. Les scientifiques aussi ont une vie humaine, leur histoire rejoint parfois l'Histoire...

III.8. a. Qui était Alfred Nobel ? Quand a-t-il vécu ? Qu'a-t-il inventé ? Était-il marié ? A-t-il eu des héritiers ?

III.8. b. Y a-t-il un prix Nobel en Mathématiques ? Savez-vous pourquoi ?

III.8. c. Quelle est la seule personne à avoir reçu deux prix Nobel, un en Physique, un en Chimie ? Quand a-t-elle vécu ? Qui était son mari ?

III.8. d. Qui était Paul Langevin ?

IV. Spectrométrie

IV.1. Rappeler la valeur de E_0 , énergie de première ionisation de l'Hydrogène.

IV.2. Considérons une mole d'atomes d'Hydrogène. Exprimer l'ordre de grandeur de l'énergie E_i , qu'il faudrait fournir à ce système pour l'ioniser complètement, en fonction de E_0 et \mathcal{N} . En donner l'ordre de grandeur numérique. Comparer E_i à une quantité d'énergie macroscopique quotidienne (chauffage, réfrigérateur, fabrication de glaçons, ...). Conclure .

V. Quelques raies de quelques éléments

V.1. l'Hydrogène

On rappelle que les niveaux d'énergie E_n de l'électron dans l'atome d'Hydrogène sont décrits par la relation :

$$E_n = -\frac{E_0}{n^2}, \text{ avec } E_0 \sim 14 \text{ eV}$$

On rappelle que E_0 est parfois nommée constante de Rydberg...

Lors d'une transition électronique d'un niveau énergétique m vers un niveau q , la différence d'énergie δE_{mq} s'exprime donc :

$$\delta E_{mq} = E_q - E_m = -E_0 \left(\frac{1}{q^2} - \frac{1}{m^2} \right)$$

D'autre part, la fameuse formule de première quantification de l'énergie, venant de l'interprétation de l'effet photo électrique du à Albert Einstein, relie le quantum d'énergie (définition du photon) E que l'électron échange à la fréquence, ν , du rayonnement associé à la transition :

$$E = h\nu \text{ avec } h \text{ constante de Planck : } h = 6,63 \cdot 10^{-34} \text{ J.s}$$

Lors d'une transition électronique d'un niveau m à un niveau q , on peut donc associer la fréquence ν_{mq} d'une onde plane électromagnétique :

$$\delta E_{mq} = h\nu_{mq}$$

V.2. Rappeler la relation entre la fréquence ν , la longueur d'onde λ et la vitesse c_0 de la lumière dans le vide.

V.3. En déduire que lors de la transition mq :

$$\lambda_{mq} = \left| \frac{hc_0}{E_0} \frac{m^2 q^2}{m^2 - q^2} \right|$$

L'hydrogène, par sa simplicité structurale et son abondance dans l'Univers, a été historiquement beaucoup étudié. Ses raies d'émission ont été classées en séries synthétisées dans le tableau 1.

V.3. a. Etablir les expressions des longueurs d'onde minimales et maximales pour les deux séries Balmer et

Nom de la série	Transitions	Nomenclature traditionnelle
Lyman	$n \geq 2 \rightarrow n = 1$	$Ly_\alpha, Ly_\beta, Ly_\gamma, \dots$
Balmer	$n \geq 3 \rightarrow n = 2$	$H_\alpha, H_\beta, H_\gamma, \dots$
Ritz-Paschen	$n \geq 4 \rightarrow n = 3$	—
Brackett	$n \geq 5 \rightarrow n = 4$	—
Pfund	$n \geq 6 \rightarrow n = 5$	—
Humphreys	$n \geq 7 \rightarrow n = 5$	—

TABLE 1 – Nomenclature des séries des raies de l'Hydrogène

Lyman en fonction de E_0, h, c .

V.3. b. Donner une évaluation numérique de ces quatre longueurs d'onde.

V.3. c. Quelle série se retrouve dans le domaine visible ?

V.3. d. De quelle couleur apparaissent les nuages d'Hydrogène dans les nébuleuses interstellaires ?

V.4. Le Sodium

L'énergie de première ionisation du sodium est $E_1 \sim 6 \text{ eV}$. Son spectre d'émission possède un doublet (2 raies d'émission très proches en longueur d'onde) dans le visible aux longueurs d'onde $\lambda_1 = 5890 \text{ nm}$ et $\lambda_2 = 5896 \text{ nm}$. Les intensités de ces deux raies sont quasiment identiques. On appelle $\delta\lambda$ la différence $\lambda_2 - \lambda_1$.

V.4. a. Quel est le symbole chimique du Sodium ?

V.4. b. De quelle couleur devient la flamme quand on jette un sel sodé dans le feu ?

V.4. c. Exprimer la différence d'énergie δE_D de rayonnement correspondant à la différence entre ces deux

longueurs d'onde du doublet, en fonction de h , c , $\delta\lambda$ et de λ_1 (on supposera que $\lambda_1\lambda_2 \sim \lambda_1^2$). Donner sa valeur numérique avec un chiffre significatif.

On suppose maintenant que l'on peut transposer le modèle du niveau d'énergie de l'électron de l'atome d'Hydrogène à celui du Sodium.

V.4. d. Proposer une expression pour l'énergie $E_n(\text{Na})$ du niveau n pour l'atome de sodium en fonction de E_1 et n .

V.4. e. En supposant que la différence δE_D est provoquée par une transition d'un niveau n_0 à un niveau $n_0 + 1$, exprimer n_0 en fonction de δE_D et E_1 . Donner une estimation de sa valeur numérique.

V.4. f. Sachant que l'atome de Sodium possède 11 électrons répartis sur les 3 premiers niveaux énergétiques lorsqu'il est au repos (2 électrons au niveau $n = 1$, 8 au niveau $n = 2$, et 1 au niveau $n = 3$), la valeur de n_0 trouvée à la question précédente vous semble-t-elle plausible? Dans quel état se trouverait alors l'atome de Sodium?

V.4. g. Vous connaissez une règle empirique de chimie de remplissage des niveaux d'énergie des couches électroniques. Donner son nom.

V.4. h. Par quelques arguments pertinents, expliquer pourquoi l'approche naïve proposée (prendre modèle sur l'atome d'Hydrogène) ne peut pas fonctionner, on pourra illustrer le propos en invoquant le principe d'exclusion de Pauli.

V.5. Le Cuivre

V.5. a. Quel est le symbole chimique du Cuivre?

V.5. b. Dire pourquoi c'est rigolo d'en étudier les raies?

V.5. c. Quel est le numéro atomique du cuivre, quelle est sa structure électronique?

V.5. d. Quand on met du cuivre dans une flamme, quelle couleur prend-elle?

V.6. Quelques rappels sur le corps noir et son utilisation

V.6. a. Rappeler brièvement ce qu'est le corps noir en faisant un schéma et en donnant un exemple de réalisation pratique.

V.6. b. Donner un exemple d'un objet visible tous les jours et tout le jour dont le rayonnement correspond au modèle du corps noir.

On rappelle l'expression de la densité spectrale par unité de longueur d'onde d'énergie interne d'un corps noir (quantité d'énergie interne par unité de volume et de longueur d'onde) donnée par la relation Planck :

$$u_\lambda(T, \lambda) = \frac{K\lambda^{-5}}{\exp\left(\frac{hc}{\lambda k_B T}\right) - 1}$$

V.6. c. Quelle est la dimension physique de $u_\lambda(T, \lambda)$? Quelle est son unité dans le système international?

V.6. d. Représenter graphiquement de façon schématique $u_\lambda(T, \lambda)$ en fonction de λ pour deux températures différentes. Y a-t-il un point particulier sur cette courbe? Si oui lequel et pourquoi et où est-il, sinon lequel n'est pas et pourquoi pas et où n'est-il pas?

V.6. e. Démontrer sommairement (une explication de la méthode sera suffisante) la loi de Wien et l'énoncer en donnant la valeur numérique de la constante.

V.6. f. En donnant un exemple simple, expliquer comment on peut utiliser cette loi pour déterminer la température d'un corps inaccessible (une étoile par exemple, ou un autre corps chauffé).

V.6. g. Donner la loi de Stefan ou loi de Stefan-Boltzman (sans la démontrer), et donner la valeur numérique de la constante de Stefan. Quel est le lien entre la fonction $u_\lambda(T, \lambda)$ et la puissance émise par le corps noir.

PARTIE C: THERMODYNAMIQUE

I. Des formes (généreuses) d'énergie

I.1. Attention aux mots, ça peut faire des maux

I.1. a. En mathématiques, une "forme" est une application linéaire d'un espace vectoriel sur un corps. Dire en quoi cela n'a aucun rapport avec le titre proposé. Pourquoi est ce important de définir (même rapidement) précisément les termes (et non les termes) que l'on emploie dans un contexte scientifique? Pourquoi l'auteur a-t-il écrit "forme" au lieu de "therme"?

I.1. b. En thermodynamique, il est usuel de noter h l'enthalpie par unité de masse. Quelle est l'unité de l'enthalpie massique, de l'enthalpie molaire? Est ce que ces quantités ont un rapport quelconque avec la constante de Planck?

I.1. c. On considère une mole de di-Hydrogène (H_2) gazeux. En justifiant vos hypothèses et les valeurs numériques proposées, estimer numériquement l'ordre de grandeur du volume qu'occupe ce système à la température et la pression standard de l'atmosphère ($T \sim 300K$ et $P \sim 10^5$ Pa) si l'on considère qu'il se comporte comme un gaz parfait. Donner alors un ordre de grandeur du volume v_t qu'occuperait un atome de H_2 dans ces conditions.

I.1. d. Si l'on considère que ce volume est une sphère de rayon r_t , comparer numériquement r_t à a_0 (rayon de Bohr). Est ce cohérent? Commenter de façon pertinente : en particulier on pourra s'attacher à définir la notion de cohérence dans ce contexte. Connaissez vous un domaine de la physique où il est question de "cohérence"?

I.1. e. En utilisant ce petit exemple numérique, définir ce qu'est la Thermodynamique, avec des mots simples, clairs mais précis, compréhensibles par un élève de collège.

I.2. Des définitions (proposées par Dédé Finission)

I.2. a. En thermodynamique classique, les échanges d'énergie sont classés en deux catégories, le **travail**, noté W et ce que l'on nommait avant "**chaleur**" (du temps où P. Lieutaud expliquait à Archimède comment trouver la dernière décimale de π) et que l'on nomme maintenant, parfois "**transfert thermique**". Définir avec des mots simples, clairs mais précis ces deux termes "travail" et "transfert thermique" ou "chaleur".

I.2. b. Définir ce qu'est un système.

I.2. c. Définir l'énergie interne, U , d'un système.

I.2. d. Définir l'enthalpie H d'un système.

I.2. e. Énoncer le Premier Principe de la Thermodynamique.

I.2. f. Ne pas énoncer le Second Principe de la Thermodynamique, mais expliquer ce qu'il modélise.

I.2. g. Énoncer le Second Principe de la Thermodynamique.

I.3. Dialectique du champ lexical scientifico-médiatique dans l'arborescence managériale du flux sémantique des oxymores pédagogiques des dédales intellectualisant d'apprenants iconoclastes

On peut lire sur le site du ministère de l'Écologie, du développement durable et de l'énergie le texte suivant reproduit en annexe concernant les Énergies renouvelables (il est recopié tel quel, fautes d'orthographe et de grammaire incluses).

I.3. a. À votre avis que signifie le sigle EnR du texte? Pensez vous qu'il aurait fallu le définir?

I.3. b. Expliquer, comme vous le feriez à un élève de collège (du niveau que vous voulez), la signification des pourcentages de la première partie du texte. En particulier, on prendra un soin particulier à définir proprement les pourcentages (numérateur et dénominateur).

I.3. c. D'après vos connaissances, comment fonctionne une pompe à chaleur? Vous semble-t-il judicieux de classer ce dispositif dans la rubrique "chaleur", si oui pourquoi sinon pourquoi pas?

I.3. d. Y a-t-il un lien logique entre le fait que la France soit la deuxième puissance maritime mondiale et qu'elle possède des "atouts considérables pour être un acteur majeur..."?

I.3. e. Citer trois acteurs majeurs français ou allemands.

I.3. f. Vous expliquerez en trois phrases et 78 mots maximum ce que vous avez compris de la partie du texte reproduite en italique. Au passage, vous relèverez toutes les fautes de français

I.3. g. Définir le mot amphigouri. Donner un exemple.

I.3. h. En une mini-dissertation d'une demi-page vous expliquerez pourquoi il est essentiel que les enseignants (en particulier pour des enfants et jeunes adolescents) puissent transmettre le sens de l'esprit critique et de la rigueur d'un raisonnement.

I.3. i. Vous semble-t-il important d'oser dire que vous ne comprenez pas un texte ? Vous semble-t-il important qu'un élève ose le faire ? Pourquoi ?

I.3. j. Mise en situation professionnelle. Un élève de collège est "tombé" par hasard sur ce site ministériel. Dans une copie sur l'électricité, il vous explique doctement que "Concernant plus spécifiquement le secteur électrique, l'enjeu est également de permettre leur meilleure intégration au marché et au système électrique nécessaire à leur développement croissant." Vous explicitez votre démarche pédagogique d'enseignant de Sciences "dures" consistant expliquer ce passage en une seule phrase de 15 mots maximum.

I.3. k. Quelle est la fonction d'un enseignant ? Est ce nouveau dans l'histoire de l'Humanité ?

I.3. l. Peut on expliquer ce que l'on ne comprend pas ?

II. Généralités sur les machines thermiques

II.1. Faites un schéma fonctionnel d'une machine thermique (di-therme), cyclique, en spécifiant bien vos notations et en faisant apparaître les chaleurs échangées par le système actif avec les thermostats et le travail échangé par ce système actif avec l'organe de transmission mécanique.

II.2. Faire un diagramme de Raveau de cette machine en explicitant le mode de fonctionnement selon les zones graphiques du diagramme.

II.2. a. Dans chaque mode de fonctionnement, quelle quantité sera l'énergie "primaire", quelle quantité sera l'énergie "utile" ?

II.2. b. Dans chaque mode de fonctionnement définir l'indicateur adapté de la qualité de la machine

II.2. c. Expliquer pourquoi cet indicateur n'a pas le même nom usuel selon que la machine est motrice ou utilisée en pompe à chaleur.

II.3. Comment définiriez vous le terme "énergie renouvelable" ? Ou apparaîtrait elle dans une machine thermique ?

II.4. Montrer l'inégalité de Clausius-Carnot les chaleurs échangées et les températures des thermostats, pendant un cycle.

II.5. Un cycle de Carnot est un cycle composé de 4 branches de transformations quasi-statiques. Quelles en sont les caractéristiques particulières ?

II.6. Représenter graphiquement un cycle de Carnot dans un diagramme entropie-température (diagramme T, S).

II.7. Que représente l'aire de la figure géométrique du cycle dans ce diagramme ?

II.8. Montrer graphiquement (en utilisant des points et branches que vous spécifierez dans le diagramme) que si le cycle est moteur alors le rendement maximal est le rendement de Carnot r_c

$$r_c = 1 - \frac{T_f}{T_c}$$

où l'on spécifiera ce que sont T_f et T_c .

III. Application d'un moteur thermique à un engin qui est aussi laid, bruyant et polluant que ce qu'il est dangereux et utile : l'hélicoptère

On considère un hélicoptère de masse $M_H = 2.10^3$ kg, en vol stationnaire à une hauteur $h = 10$ mètres au dessus du sol. Son hélice a des pales d'une longueur $L_p = 1,954$ mètres.

III.1. Faire un schéma de profil de l'hélicoptère en y faisant figurer les distances de l'énoncé.

III.2. Par quel principe physique ce "machin" sans forme arrive-t-il à faire du vol stationnaire ?

III.3. On cherche à évaluer qualitativement et quantitativement comment l'hélicoptère peut voler.

III.3. a. Est ce que h a un rapport ici avec un enthalpie massique, avec la constante de Planck ?

III.3. b. Calculer littéralement puis numériquement le travail W_H du poids de l'hélicoptère pendant un laps



FIGURE 5 – *Maquette de la vis aérienne de Léonard de Vinci, exposée au musée des sciences et techniques Léonard de Vinci à Milan*

de temps de T_s de vol stationnaire. On prendra plusieurs valeurs de T_s : $T_s = 10$ secondes, $T_s = 120$ secondes.

III.3. c. Malgré ce résultat, le moteur de l'hélicoptère doit tourner pour assurer le vol stationnaire, et donc consommer de l'énergie. Expliquer ce paradoxe en vous aidant du schéma fait et des principes de conservation en mécanique.

III.4. On souhaite estimer la puissance mécanique, P_m que doit fournir le moteur de l'hélicoptère pour que ce dernier reste en vol stationnaire. Ce dimensionnement en ordre de grandeur est fait sans utiliser de résultats issus de la physique des fluides mais uniquement de l'analyse dimensionnelle. On suppose qu'interviennent dans cette relation uniquement les quantités ρ_a , S_H , M_H , g .

III.4. a. On note ℓ la dimension de longueur, \mathcal{M} celle de masse, \mathcal{T} celle de temps. Sachant que les dimensions de ρ_a , S_H , M_H , g sont :

$$[\rho_a] = \mathcal{M}.\ell^{-3}; [S_H] = \ell^2; [M_H] = \mathcal{M}; [g] = \ell.\mathcal{T}^{-2}$$

donner la signification physique et le nom de chacune de ces 4 variables, on reliera en particulier S_H à L_p

III.4. b. On appelle P_h la puissance de l'hélice de l'hélicoptère (puissance que transmet l'hélice à l'air). On suppose un loi de la forme :

$$P_h = \rho_a^\alpha S_H^\beta M_H^\gamma g^\delta$$

Par analyse dimensionnelle trouver la valeur des coefficients α , β , γ et δ .

III.4. c. Faire l'application numérique en justifiant le choix de la valeur de ρ_a .

III.4. d. L'hélice a un rendement r_h de l'ordre de 50%. Définir le rendement de l'hélice.

III.4. e. En déduire la relation entre P_m et P_h . Faire l'application numérique pour P_m

III.5. Le rendement du moteur de l'hélicoptère (en fait c'est une turbine) est de $r_m \sim 30\%$.

III.5. a. Calculer littéralement la puissance thermique P_Q nécessaire au fonctionnement du moteur pour soutenir l'hélicoptère.

III.5. b. Faire l'application numérique.

III.5. c. Quelle énergie thermique est consommée par le moteur durant $T_s = 10$ secondes, $T_s = 120$ secondes ?

III.5. d. Combien de litres d'eau liquide pourrait on faire évaporer avec ces chaleurs ? On pensera à justifier la valeur numérique que l'on prend pour la chaleur latente d'évaporation de l'eau.

III.6. On cherche à évaluer la consommation horaire de carburant de ce moteur qui fonctionne au kérozène, dont on supposera l'enthalpie ΔH_r de combustion dans les conditions du moteur comme étant :

$$\Delta H_r \sim 40.10^6 \text{ J.kg}^{-1}$$

III.7. En supposant le kérozène comme un alcène simple (une seule double liaison) assimilable à de l'octène, écrire l'équation stochiométrique de réaction du kérozène dans le dioxygène de l'air.

III.8. Déduire de cette équation plusieurs choses :

III.8. a. la consommation massique horaire de carburant de l'hélicoptère,

III.8. b. la quantité de vapeur d'eau expulsée des turbines en une heure de vol,

III.8. c. la quantité de dioxyde de carbone lâchée dans l'atmosphère en une heure de temps.

III.8. d. Supposant que le kérozène possède une masse volumique $\rho_k \sim 0,9 \text{ kgm}^{-3}$, estimer le volume de carburant à emporter pour avoir une autonomie de vol d'un quart d'heure. Comparer à une voiture qui a une masse comparable.

III.9. Quelle est l'utilité d'un tel engin ?

III.10. Le photographe Yann Arthus-Bertrand, militant public de la cause de la lutte contre le réchauffement climatique a publié plusieurs ouvrages de photos aériennes de la Terre. Il a volé des milliers d'heures, en avion et aussi en hélicoptère, pour prendre ces photos. L'impact environnemental de ces vols a été compensé, au sens du bilan carbone, par le replantage de végétation et d'arbres. Estimer, en justifiant les valeurs numériques que vous prendrez, combien d'arbres ont été replantés pour un millier d'heures de vol ?

PARTIE D: OPTIQUE

On cherche ici à modéliser l'appareil photographique de Yann Arthus Bertrand, ou une caméra de télévision (embarqué dans un hélicoptère pour faire le lien avec la partie précédente) d'un point de vue optique.

I. Généralités sur l'Optique géométrique et un peu d'Ondulatoire

I.1. Définir les deux termes "Optique Géométrique", "Optique Ondulatoire".

I.2. Rappeler ce que sont les conditions dites "conditions de Gauss" de l'optique géométrique.

I.3. Qui était Gauss, de quelle nationalité était-il, quel était son métier, à quelle époque a-t-il vécu ?

I.4. Rappeler 5 règles de constructions d'Optique Géométrique, concernant le tracé des rayons lumineux lors de la traversée d'une lentille mince (quel que soit son type).

I.5. Vous utiliserez ces règles pour faire 4 schémas de construction de rayons lumineux traversant une lentille mince dans les cas suivant :

- Lentille convergente, on se donne un objet réel AB , construire son image $A'B'$.
- Lentille convergent, on se donne une image virtuelle $A'B'$, construire l'objet AB dont elle est issue.
- Lentille divergente, on se donne un objet virtuel AB , construire son image $A'B'$.
- Lentille divergente, on se donne une image virtuelle $A'B'$, construire l'objet dont elle est issue.

On utilisera des codes de couleur, et de tracé de traits (pointillés, pleins, ...). **I.6.** Considérons ici une lentille mince, de distance focale f' , donner la relation de conjugaison, au sommet O de la lentille.

I.7. Définir de grandissement γ . Cette grandeur a-t-elle quelque chose à voir avec celle définie dans la question de l'analyse dimensionnelle de la puissance de l'hélice d'hélicoptère ?

I.8. Considérons maintenant une lentille L de forme circulaire, de rayon a . Elle est éclairée par un faisceau lumineux parallèle à l'axe optique, de couleur verte.

I.8. a. Faire un schéma du dispositif, faisant figurer l'image du faisceau.

I.8. b. Le bord de la lentille diffracte le faisceau d'entrée. Exprimer la taille transverse ℓ_t de l'image du faisceau en fonction des données géométriques de la lentille et de la longueur d'onde. Faire l'application numérique pour $a = 0.5 \text{ cm}$ et $f' = 5 \text{ cm}$, en justifiant le choix des autres valeurs numériques que vous choisirez.

I.8. c. En déduire R_a la résolution angulaire de ce dispositif.

II. Dissertation

En deux pages maximum et 2 schémas maximum, vous expliquerez le principe de fonctionnement optique d'un appareil photo numérique. Devront nécessairement être expliqués :

- la notion et la réalisation pratique de la mise au point,
- le fonctionnement du détecteur photosensible,
- la notion de pixel,

- la notion de profondeur de champ,
- le rôle du diaphragme d'entrée, de son réglage, et de son influence sur la profondeur de champ,
- la notion de résolution angulaire reliée à la taille du pixel.

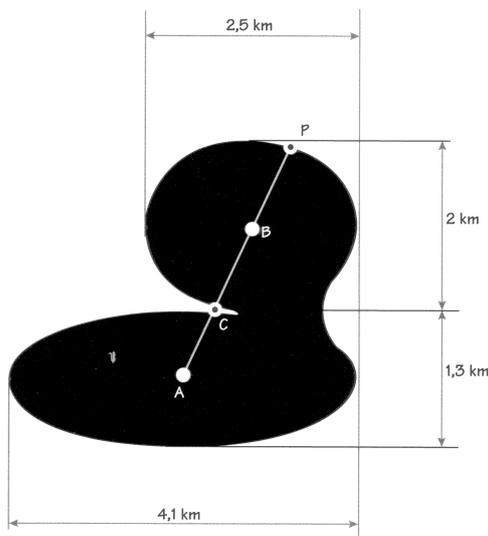
Vous expliquerez aussi pourquoi l'objectif "neutre" en terme de grossissement est qualifié d'objectif "50 mm argentique". Vous utiliserez vos connaissances pour estimer numériquement tous les ordres de grandeurs des quantités afférentes aux notions expliquées. Vous expliquerez enfin pourquoi il est moins dangereux de faire de la photographie que de l'hélicoptère (sauf si on fait les deux à la fois).

PARTIE E: ANNEXES

Jouons avec... LES ATERRISSAGES

EXO GO / NO GO

Un petit exercice pour comprendre comme il est difficile de poser un robot sur une comète avec une très faible gravité. Modélisons la comète comme si elle était l'assemblage de deux astres (avec une forme en ellipsoïde) de centres A et B, accolés l'un à l'autre.



Une puce dans le cou ?

Si Tchoury ressemble à un canard en plastique, Philae aurait-il pu se poser dans le "cou" du canard ?

- Quelle est la masse de chaque bloc ? On les appelle m_A et m_B .
- En utilisant Pythagore, détermine la distance **AB**. Prenons le point **C**, intersection de la droite (**AB**) et de la ligne de séparation des deux lobes. En utilisant Thalès, calcule les distances **CA** et **CB**.
- Grâce aux formules données détermine la gravité en **C** due au lobe **A**, puis celle due au lobe **B**. Dédus-en la gravité totale en **C**.
- Où est situé le point **N** sur la droite (**AB**) où la gravité est nulle ? (Il s'agit de calculer **NA** et **NB**). En réalité, le "col" de la comète est plus ouvert que sur le dessin, probablement jusqu'au point **N**. Qu'est-ce qui aurait empêché Philae de se poser au point **N** ?

Une puce sur la tête ?

On appelle le "centre de masse" de la comète, le point **O** autour duquel elle tourne sur elle-même. **O** est situé sur (**AB**) tel que $m_A \cdot OA = m_B \cdot OB$

- Où est situé **O** ? (Calcule les distances **OA** et **OB**.)

2 En réalité, Philae a atterri au point **P**, symétrique de **C** par rapport à **B**. Calcule la gravité en ce point. Le poids d'un corps sur un astre est égal à sa masse multiplié par la gravité qu'il subit (poids = masse x gravité). On a entendu dans les médias que la sonde, d'une masse de 100 kg, pesait "1 gramme" sur la comète. Qu'est-ce que cela signifie à ton avis ?

3 En **P**, la gravité est encore atténuée par la force centrifuge, due à la rotation de la comète. Calculer l'accélération centrifuge a_{cen} . Si l'on retranche cette valeur à la gravité, que reste-t-il ? Cela nous donne la gravité finale en **P** (g_{finale}).

4 La vitesse de libération au point **P** est la vitesse que doit avoir un objet pour se libérer de l'attraction de la comète. Calcule cette vitesse sans tenir compte de la force centrifuge puis en en tenant compte. Sachant que Philae est arrivé à la vitesse de 1 m/s, que serait-il passé si il avait rebondi à la même vitesse ? Les amortisseurs ont-ils joué un rôle ?

5 Au point **P**, la rotation donne à Philae une vitesse latérale égale à $V = R\omega$. Compte tenu de sa vitesse verticale (inférieure à la vitesse de libération), Philae a-t-il rebondi sur lui-même (verticalement) ou plutôt latéralement ? (Autrement dit : laquelle des deux vitesses est prépondérante : verticale ou horizontale ?)

Données

Masse volumique de la comète : $\rho = 400 \text{ kg/m}^3$

Volume d'un ellipsoïde : $4/3 \times \pi \times a \times b \times c$

où **a**, **b** et **c** sont les demi-dimensions de l'ellipsoïde.

Dimensions du bloc A : $4,1 \times 1,3 \times 3,2 \text{ km}$

Dimensions du bloc B : $2,5 \times 2,5 \times 2 \text{ km}$

Gravité : $g = GM/R^2$

où **G** est la constante de gravitation universelle ($= 6,67384 \times 10^{-11} \text{ m}^3 \text{ kg}^{-1} \text{ s}^{-2}$)

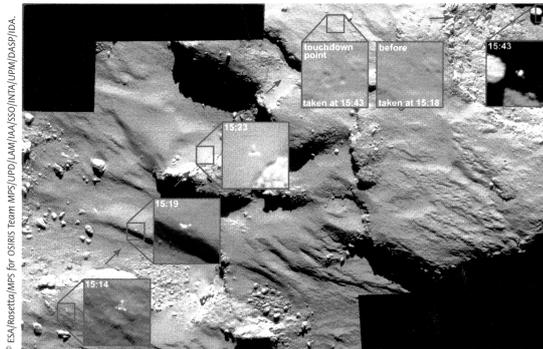
M : masse de l'astre et **R** : distance au centre de masse de l'astre.

Gravité à la surface de la Terre : 10 m.s^{-2}

Accélération centrifuge $a_{cen} = \omega^2 R$

où ω est la vitesse angulaire de la comète (ici, la comète fait 1 tour en 12 h qu'il faut convertir en radians par seconde).

Vitesse de libération : $V = \sqrt{2Rg}$.



Sur cette rafale de clichés, Philae apparaît pendant son rebond.

A lire sur : : <http://www.developpement-durable.gouv.fr/Politique-de-developpement-des,13554.html>

L'Union européenne s'est fixée l'objectif de satisfaire 20% de sa consommation finale d'énergie par les énergies renouvelables à l'horizon 2020. Cette ambition se traduit par une cible de 23% pour la France déclinée par filière : chaleur (géothermie, biomasse, solaire, pompes à chaleur, part renouvelable des déchets) à 33%, électricité à 27% et transports à 10.5%.

Notre pays bénéficie d'atouts considérables pour devenir un acteur majeur des technologies de production d'énergies renouvelables, aussi bien en Europe que dans le monde :

- La France dispose du premier potentiel agricole européen et du troisième potentiel forestier.
- Elle est la deuxième puissance maritime mondiale avec onze millions de kilomètres carrés de zones maritimes.
- Notre pays est le second producteur européen d'énergies renouvelables après Allemagne.

Le développement des énergies renouvelables bénéficie d'un soutien public car leur déploiement ne pourrait pas se faire en général aujourd'hui sur le seul critère de compétitivité dans un fonctionnement de marché.

Le soutien de l'État au déploiement des EnR doit également répondre à un objectif de développement de filières industrielles compétitives en les accompagnant de manière ciblée et en tenant compte de nos avantages comparatifs vers la maturité économique. Le soutien public aux filières renouvelables est en effet nécessaire pour les accompagner vers la maturité technologique et économique afin qu'elles deviennent compétitives. Le soutien public doit à ce titre permettre de faciliter la levée des différents verrous techniques et économiques dans une perspective de réduction de coûts de ces technologies, de façon adaptée selon leur stade de développement depuis la R&D jusqu'à l'industrialisation. Concernant plus spécifiquement le secteur électrique, l'enjeu est également de permettre leur meilleure intégration au marché et au système électrique nécessaire à leur développement croissant.

Globalement, la France a fait le choix d'un développement raisonné et encadré des énergies renouvelables. Il s'agit en effet d'assurer un développement aussi harmonieux que possible des énergies renouvelables avec d'autres problématiques majeures :

- pollution de l'air, avec notamment une réglementation stricte des installations utilisant la biomasse en terme d'émissions de particules
- impact paysager, avec notamment une réglementation stricte encadrant l'implantation des éoliennes et une incitation financière en faveur des installations photovoltaïques intégrées au bâti
- conflits d'usages des sols, avec notamment une limitation des surfaces cultivables alloués à la production de biocarburants et une vigilance accrue sur l'implantation des centrales photovoltaïques au sol
- impact architectural, avec notamment une adaptation des exigences thermiques des bâtiments selon leur caractère architectural.

— FIN —