Faculté Saint-Jean **automne 2021**
PHYSQ 261 LEC A1 - Physique de l'énergie et de l'environnement
Examen partiel 2

Nom $\boxed{\text{SOLUTIONS}}$

Numéro d'étudiant ____

Professeur Marc de Montigny
Date Jeudi 18 novembre 2021, de 14h30 à 15h50
Local 366

Instructions

- Ce cahier contient **7 pages.** Écrivez-y directement vos réponses. Vous pouvez utiliser le verso pour vos calculs. **Je ne le corrigerai pas sauf si vous m'indiquez de le faire.**
- L'examen contient **15 points** et vaut **15%** de la note finale du cours.
- L'examen contient **7 questions**. Vous pouvez obtenir une partie des points même si votre réponse finale est erronée.
- Examen à livre fermé. Vous pouvez utiliser l'aide-mémoire (une feuille recto-verso) que vous aurez complété et imprimé.
- Matériel permis: aide-mémoire, crayon ou stylo, calculatrice (programmable ou graphique permise aussi). Tout autre appareil électronique ou moyen de communication est interdit. Mettez vos téléphones cellulaires hors circuit.

Si quelque chose n'est pas clair, n'hésitez pas à me demander de clarifier!

Question 1. Concentration d'un gaz polluant [1.5 point]

À 2 ppm, la concentration atmosphérique du méthane (CH_4) est bien inférieure à celle du CO_2, mais le CH_4 piège la chaleur 84 fois plus que le CO_2. (Tableau périodique à la fin de l'examen.) Quelle est la concentration en mg/m^3 de 2 ppm de CH_4:

(a) au sommet de l'Everest, s'il y fait une température de -20°C et que la pression y vaut 0.333 atm, et

(b) à des conditions normales de $+20$°C et 1.0 atm?

$\boxed{\text{Solutions}}$

(a) Au sommet de l'Everest,

$$\left[\frac{\text{mg}}{\text{m}^3}\right] = \frac{(2)(12+4)}{22.4}\frac{273}{273-20}\frac{0.333}{1} = \boxed{0.513 \text{ mg/m}^3}$$

(b) Sous des conditions normales,

$$\left[\frac{\text{mg}}{\text{m}^3}\right] = \frac{(2)(12+4)}{22.4}\frac{273}{273+20}\frac{1}{1} = \boxed{1.33 \text{ mg/m}^3}$$

Question 2. Concentration d'un polluant dans l'eau [2.5 points]

Supposez que la rivière North Saskatchewan contienne 0.2 g/m^3 d'un polluant conservatif en entrant dans Edmonton. Le débit de la rivière vaut 100 m^3/s. Dans la ville, une industrie déverse 6 kg par minute du même polluant dans la rivière, sans affecter le débit volumique total de la rivière.

(a) Quelle est la concentration de ce polluant, en g/m^3, dans la rivière à la sortie d'Edmonton?

(b) Que vaut cette concentration en parties par milllion (ppm)? (Rappel: la concentration de l'eau vaut 10^6 g/m^3.)

$\boxed{\text{Solutions}}$

(a) Comme 6 kg/min = 6000 g/(60 s) = 100 g/s, le taux d'entrée du polluant vaut (0.2 g/m^3)(100 m^3/s)+100 g/s = 120 g/s. Le taux de sortie vaut ρ_s(100 m^3/s), de sorte que ρ_s(100 m^3/s) = 120 g/s donne $\boxed{\rho_s = 1.2 \text{ g/m}^3}$

(b) On peut écrire $\rho_s = (1.2 \text{ g/m}^3)/(10^6 \text{ g/m}^3) = \boxed{1.2 \text{ ppm}}$

... suite en page 3

Question 3. Concentration d'un polluant non-conservatif dans l'air [3.5 points]

Une salle de bingo ouvre à 19 h avec de l'air pur. Son volume vaut 1260 m^3 et elle contient 30 personnes qui fument chacune 2 e-cigarettes par heure. Chaque e-cigarette émet environ 1.0 mg de formaldéhyde (HCHO) qui est converti en dioxyde de carbone (CO_2) à un taux $\kappa = 0.4$ hr^{-1}. De l'air frais pénètre et ressort de la salle à raison de 800 m^3/h. (Tableau périodique à la fin de l'examen.)

(a) Quelle sera la concentration de HCHO à l'équilibre, en mg/m^3?
(b) Si la température vaut 22°C et la pression, 1 atm, quelle est l'équation de la concentration de HCHO (en mg/m^3) en fonction du temps?
(c) D'après votre réponse en (b), quelle sera la concentration à 20 h?
(d) D'après votre équation en (b), à quelle heure une concentration de 0.05 ppm (seuil d'irritation des yeux) sera atteinte?
(e) À quelle heure une concentration de 0.01 ppm sera atteinte?

Solutions

(a) On a $V = 1260$ m^3, un taux d'entrée $S = 30 \times 2 \times 1.0$ mg/h $= 60$ mg/h, $Q = 800$ m^3/h, et $\kappa = 0.4$ hr^{-1}. On peut calculer la concentration à l'équilibre:

$$\rho_\infty = \frac{S}{Q + \kappa V} = \boxed{0.046 \text{ mg/m}^3}$$

(b) Comme $\rho_0 = 0$ mg/m^3, et $\kappa + \frac{Q}{V} = 1.0349$ hr^{-1}, la concentration est

$$\rho(t) = (\rho_0 - \rho_\infty) \exp\left[-\left(\kappa + \frac{Q}{V}\right)t\right] + \rho_\infty = -0.046e^{-1.0349t} + 0.046 = \boxed{0.046\left(1 - e^{-1.0349t}\right) \text{ mg/m}^3}$$

(c) À 20 h, on prend $t = 1$ h dans l'équation de (b) et

$$\rho(t) = 0.046\left(1 - e^{-1.0349(1)}\right) = \boxed{0.0297 \text{ mg/m}^3}$$

(d) 0.05 ppm correspond à

$$\left[\frac{\text{mg}}{\text{m}^3}\right] = \frac{(0.05)(1+12+1+16)}{22.4}\frac{273}{273+22}\frac{1}{1} = 0.06197 \text{ mg/m}^3$$

Comme la concentration passe de $\rho_0 = 0$ à $\rho_\infty = 0.046$ mg/m^3, $\boxed{\text{0.05 ppm ne sera jamais atteinte}}$
(e) Il s'agit de (1/5)0.06197 mg/m^3 = 0.01239 mg/m^3 et en posant

$$0.046\left(1 - e^{-1.0349t}\right) = 0.01239 \rightarrow t = 0.3032 \text{ h} = 0.3032(60 \text{ min}) = 18 \text{ min} \rightarrow \boxed{\text{19h18}}$$

... suite en page 4

Question 4. Intensité, albédo et température [2.5 points]

Soit I_0, la constante solaire (en W/m^2) reçue par une planète de rayon R dont l'albédo est α.

(a) En utilisant l'équilibre entre le rayonnement entrant la planète et le rayonnement émis par la planète, ainsi que la loi de Stephan-Boltzmann ($I = \sigma T^4$, $\sigma = 5.67 \times 10^{-8}$ W/m^2·K^4) pour un corps noir, quelle est la relation impliquant I_0, α, R et T qui permet de calculer approximativement (sans tenir compte des détails de l'atmosphère) la température globale T de la planète?

(b) Avec votre résultat, quelle serait la température globale de la Terre, avec $I_0 = 1368$ W/m^2, $R = 6370$ km et $\alpha = 0.31$?

(c) Et pour Vénus, dont $I_0 = 2636$ W/m^2, $R = 6052$ km et $\alpha = 0.75$?

Solutions

(a) L'équilibre entre l'entrée et la sortie d'énergie donne

$$\boxed{(1-\alpha) I_0 \times \pi R^2 = \sigma T^4 \times 4\pi R^2}$$

(b) Pour la Terre, la réponse en (a) donne

$$T^4 = (1-\alpha)\frac{I_0}{4\sigma} \to T = \sqrt[4]{(1-\alpha)\frac{I_0}{4\sigma}} = \sqrt[4]{(1-0.31)\frac{1368}{4(5.67 \times 10^{-8})}} = \boxed{254 \text{ K} = -19\ ^\circ\text{C}}$$

(c) Pour Vénus, (a) donne

$$T = \sqrt[4]{(1-\alpha)\frac{I_0}{4\sigma}} = \sqrt[4]{(1-0.75)\frac{2636}{4(5.67 \times 10^{-8})}} = \boxed{232 \text{ K} = -41\ ^\circ\text{C}}$$

Question 5. Masse de l'atmosphère [2.0 points]

La valeur de la pression atmosphérique terrestre, $P_{\text{atm}} = 101.3$ kPa, nous permet d'évaluer la masse de l'atmosphère, car P_{atm} est due au *poids* de l'atmosphère sur la surface de la Terre, qu'on considère comme étant un sphère de rayon $r = 6370$ km (et d'aire $A = 4\pi r^2$). En se rappelant que la pression $P = F/A$, déduisez, du poids de l'atmosphère, la masse de l'atmosphère en divisant son poids par $g = 9.81$ m/s^2.

Solution

$mg = PA = P(4\pi r^2)$ d'où

$$m = \frac{P(4\pi r^2)}{g} = \frac{101.3 \times 10^3 (4\pi)(6370 \times 10^3)^2}{9.81} = \boxed{5.27 \times 10^{18} \text{ kg}}$$

... suite en page 5

Question 6. Réchauffement climatique dû au CO_2 [1.5 point]

Selon la NASA, la concentration de CO_2 dans l'atmosphère vaut présentement 417 ppm. Si on suppose que le doublement de cette concentration causerait une croissance de température globale de $\Delta T_d = 3.5°C$,

(a) sachant que cette concentration valait 280 ppm en 1840, de combien la température aurait-elle changé depuis 1840, selon ce modèle?
(b) quelle concentration correspondrait à une augmentation de température de 7.0°C (le pire scénario, selon le GIEC) de plus que celle de 1840?

Solutions

(a) Changement de température de 1840 à maintenant

$$\Delta T = \frac{\Delta T_d}{\ln(2)} \ln \frac{\rho}{\rho_0} = \frac{3.5}{\ln(2)} \ln \frac{417}{280} = \boxed{2.01\ °\text{C}}$$

(b) En isolant ρ, on trouve

$$\rho = 2^{\frac{\Delta T}{\Delta T_d}} \rho_0 = 2^{\frac{7}{3.5}} (280) = \boxed{1120 \text{ ppm}}$$

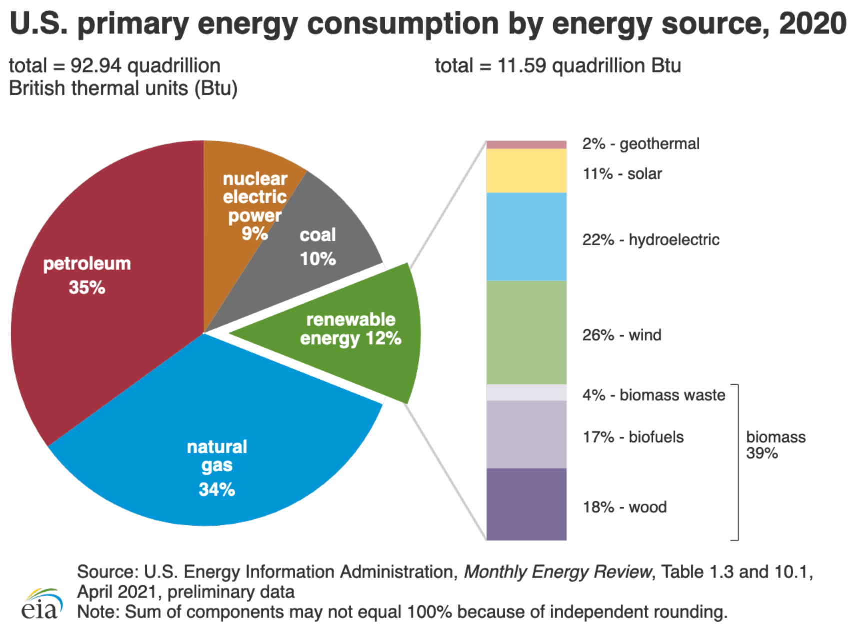
... suite en page 6

Question 7. Émissions de carbone [1.5 point]

En 2020, les États-Unis ont consommé 92.94 quads d'énergie, distribué par sources tel que montré ci-dessous. Prenez comme quantité de carbone émise pour chaque source:

(1) 25.2 Mtonnes par quad pour le charbon,
(2) 20.8 Mtonnes par quad pour le pétrole,
(3) 14.5 Mtonnes par quad pour le gaz naturel et
(4) zéro pour les autres.

En considérant que 48% du carbone émis au total est capté par l'atmosphère et que 2120 Mtonnes de carbone atmosphérique correspondent à une hausse de 1 ppm de la concentration de CO2 dans l'atmosphère, de combien la concentration de CO_2 dans l'atmosphère a augmenté, en ppm, en 2020?



Solution

Quantité totale de carbone émis:
C(charbon)+C(pétrole)+C(gaz)=(0.10)(92.94 quads)(25.2 Mt/quad)+(0.35)(92.94 quads)(20.8 Mt/quad)+(0.34)(92.94 quads)(14.5 Mt/quad)+(0.12+0.09)(92.94 quads)(0.0 Mt/quad) = 1383.4 Mt de C.

La concentration de CO_2 aurait donc augmenté de

$$(1383.4 \text{ Mt de C})(0.48)\frac{1 \text{ ppm}}{2120 \text{ Mt}} = \boxed{0.313 \text{ ppm}}$$

... tableau périodique en page suivante

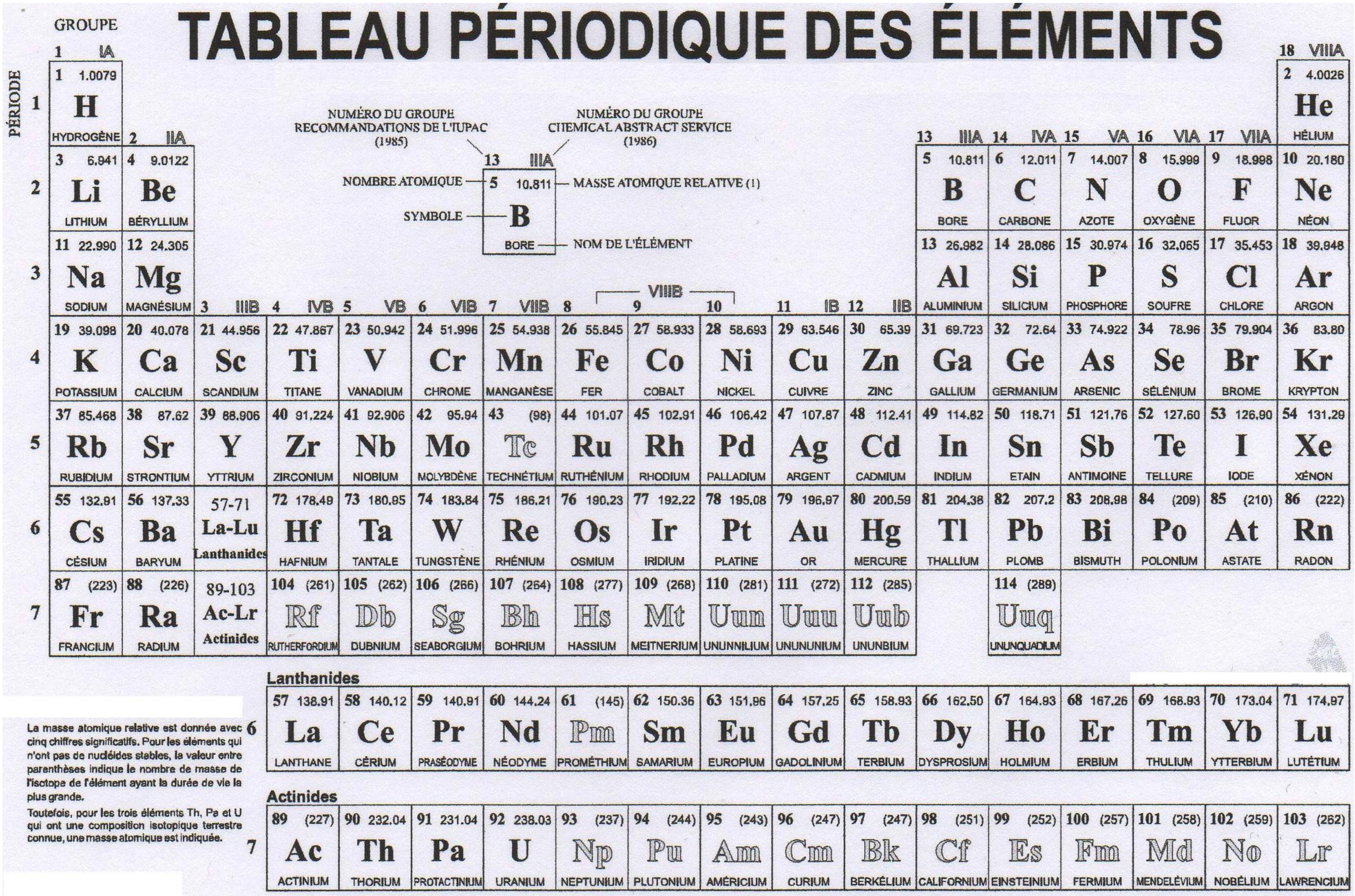


TABLEAU PÉRIODIQUE DES ÉLÉMENTS

PÉRIODE	GROUPE 1 IA	2 IIA	3 IIIB	4 IVB	5 VB	6 VIB	7 VIIB	8 VIIIB	9 VIIIB	10 VIIIB	11 IB	12 IIB	13 IIIA	14 IVA	15 VA	16 VIA	17 VIIA	18 VIIIA
1	1 1.0079 H HYDROGÈNE																	2 4.0026 He HÉLIUM
2	3 6.941 Li LITHIUM	4 9.0122 Be BÉRYLLIUM											5 10.811 B BORE	6 12.011 C CARBONE	7 14.007 N AZOTE	8 15.999 O OXYGÈNE	9 18.998 F FLUOR	10 20.180 Ne NÉON
3	11 22.990 Na SODIUM	12 24.305 Mg MAGNÉSIUM											13 26.982 Al ALUMINIUM	14 28.086 Si SILICIUM	15 30.974 P PHOSPHORE	16 32.065 S SOUFRE	17 35.453 Cl CHLORE	18 39.948 Ar ARGON
4	19 39.098 K POTASSIUM	20 40.078 Ca CALCIUM	21 44.956 Sc SCANDIUM	22 47.867 Ti TITANE	23 50.942 V VANADIUM	24 51.996 Cr CHROME	25 54.938 Mn MANGANÈSE	26 55.845 Fe FER	27 58.933 Co COBALT	28 58.693 Ni NICKEL	29 63.546 Cu CUIVRE	30 65.39 Zn ZINC	31 69.723 Ga GALLIUM	32 72.64 Ge GERMANIUM	33 74.922 As ARSENIC	34 78.96 Se SÉLÉNIUM	35 79.904 Br BROME	36 83.80 Kr KRYPTON
5	37 85.468 Rb RUBIDIUM	38 87.62 Sr STRONTIUM	39 88.906 Y YTTRIUM	40 91.224 Zr ZIRCONIUM	41 92.906 Nb NIOBIUM	42 95.94 Mo MOLYBDÈNE	43 (98) Tc TECHNÉTIUM	44 101.07 Ru RUTHÉNIUM	45 102.91 Rh RHODIUM	46 106.42 Pd PALLADIUM	47 107.87 Ag ARGENT	48 112.41 Cd CADMIUM	49 114.82 In INDIUM	50 118.71 Sn ETAIN	51 121.76 Sb ANTIMOINE	52 127.60 Te TELLURE	53 126.90 I IODE	54 131.29 Xe XÉNON
6	55 132.91 Cs CÉSIUM	56 137.33 Ba BARYUM	57-71 La-Lu Lanthanides	72 178.49 Hf HAFNIUM	73 180.95 Ta TANTALE	74 183.84 W TUNGSTÈNE	75 186.21 Re RHÉNIUM	76 190.23 Os OSMIUM	77 192.22 Ir IRIDIUM	78 195.08 Pt PLATINE	79 196.97 Au OR	80 200.59 Hg MERCURE	81 204.38 Tl THALLIUM	82 207.2 Pb PLOMB	83 208.98 Bi BISMUTH	84 (209) Po POLONIUM	85 (210) At ASTATE	86 (222) Rn RADON
7	87 (223) Fr FRANCIUM	88 (226) Ra RADIUM	89-103 Ac-Lr Actinides	104 (261) Rf RUTHERFORDIUM	105 (262) Db DUBNIUM	106 (266) Sg SEABORGIUM	107 (264) Bh BOHRIUM	108 (277) Hs HASSIUM	109 (268) Mt MEITNERIUM	110 (281) Uun UNUNNILIUM	111 (272) Uuu UNUNUNIUM	112 (285) Uub UNUNBIUM		114 (289) Uuq UNUNQUADIUM				

Lanthanides

6	57 138.91 La LANTHANE	58 140.12 Ce CÉRIUM	59 140.91 Pr PRASÉODYME	60 144.24 Nd NÉODYME	61 (145) Pm PROMÉTHIUM	62 150.36 Sm SAMARIUM	63 151.96 Eu EUROPIUM	64 157.25 Gd GADOLINIUM	65 158.93 Tb TERBIUM	66 162.50 Dy DYSPROSIUM	67 164.93 Ho HOLMIUM	68 167.26 Er ERBIUM	69 168.93 Tm THULIUM	70 173.04 Yb YTTERBIUM	71 174.97 Lu LUTÉTIUM

Actinides

7	89 (227) Ac ACTINIUM	90 232.04 Th THORIUM	91 231.04 Pa PROTACTINIUM	92 238.03 U URANIUM	93 (237) Np NEPTUNIUM	94 (244) Pu PLUTONIUM	95 (243) Am AMÉRICIUM	96 (247) Cm CURIUM	97 (247) Bk BERKÉLIUM	98 (251) Cf CALIFORNIUM	99 (252) Es EINSTEINIUM	100 (257) Fm FERMIUM	101 (258) Md MENDELÉVIUM	102 (259) No NOBÉLIUM	103 (262) Lr LAWRENCIUM

La masse atomique relative est donnée avec cinq chiffres significatifs. Pour les éléments qui n'ont pas de nucléides stables, la valeur entre parenthèses indique le nombre de masse de l'isotope de l'élément ayant la durée de vie la plus grande.

Toutefois, pour les trois éléments Th, Pa et U qui ont une composition isotopique terrestre connue, une masse atomique est indiquée.

Bonne chance!