Faculté Saint-Jean **automne 2019**
PHYSQ 261 LEC A1 - Physique de l'énergie et de l'environnement
Examen final

Nom	$\boxed{\text{SOLUTIONS}}$
Numéro d'étudiant	______________________
Professeur	Marc de Montigny
Date	Lundi 16 décembre 2019, de 9 h à midi
Local	Gymnase de la Faculté Saint-Jean, rangée 2

Instructions

- Ce cahier contient **9 pages** (incluant un tableau de la fonction gaussienne et un tableau périodique à la fin). Écrivez-y directement vos réponses. Vous pouvez utiliser le verso pour vos calculs; **je ne corrigerai pas le verso, sauf si vous m'indiquez de le faire.**
- L'examen contient **40 points** et vaut **40%** de la note finale du cours.
- L'examen contient **12 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 imprimé et complété.
- 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 polluant dans l'air [2.0 points]

La norme de Santé Canada pour l'exposition maximale résidentielle au monoxyde de carbone (CO) pendant 24 heures est d'une concentration de 10 ppm (parties par million).

(a) Exprimez cette concentration en mg/m^3 à une température de 25°C et une pression de 1 atm. (Tableau périodique à la page 9.)
(b) La concentration de CO en mg/m^3 à une température inférieure à 25°C sera-t-elle plus grande ou plus petite que votre réponse en (a)?

$\boxed{\text{Solutions}}$

(a) On a $w = 12 + 16 = 28$ g/mole, [CO]=10 ppm et $T = 273 + 25 = 298$ K. On utilise

$$\left[\frac{\text{mg}}{\text{m}^3}\right] = \frac{[\text{ppm}]w}{22.4} \times \frac{273}{T} = \frac{(10)(28)}{22.4} \times \frac{273}{298} = \boxed{11 \text{ mg/m}^3}$$

(b) $\boxed{\text{plus grande}}$ car si T diminue, $\left[\frac{\text{mg}}{\text{m}^3}\right]$ augmente.

Question 2. Pollution thermique [4.0 points]

Considérez une centrale électrique qui produit de l'énergie électrique (utile) au taux de 1300 MWe avec une efficacité η de 35%.

(a) À quel taux, en MW, cette centrale perd-elle de la chaleur?
(b) Pour quelle valeur de l'efficacité η le taux de production d'énergie électrique utile est-il égal au taux de perte de chaleur?
(c) Pour une efficacité η, que représente physiquement $1 - \eta$? (Autrement dit, pour la partie (a), quel type de puissance ou taux d'énergie le 65% représente-t-il?)

$\boxed{\text{Solution}}$

(a) De $\eta = \frac{E_{el}}{E_{el}+Q_p}$, on a $E_{el} + Q_p = \frac{E_{el}}{\eta}$, d'où $\frac{Q_p}{t} = \left(\frac{1}{\eta} - 1\right) \frac{E_{el}}{t} = \left(\frac{1}{0.35} - 1\right) 1300 = \boxed{2410 \text{ MW}}$
(b) $\eta = \frac{E_{el}}{E_{el}+Q_p} = \frac{E_{el}}{E_{el}+E_{el}} = \boxed{50\%}$
(c) $\boxed{\text{Le taux de chaleur perdue par rapport à la puissance totale produite}}$ car

$$1 - \eta = \frac{E_{el} + Q_p}{E_{el} + Q_p} - \frac{E_{el}}{E_{el} + Q_p} = \frac{Q_p}{E_{el} + Q_p}$$

Question 3. Corps noir et loi de Wien [2.0 points]

Expliquez brièvement la signification des variables de la loi de Wien: $\lambda \propto \frac{1}{T}$

$\boxed{\text{Réponse}}$ Un corps de température T émet un rayonnement dont $\lambda \propto \frac{1}{T}$ est la longueur d'onde à laquelle l'intensité est maximale.

... suite page suivante

Question 4. Rayonnement d'un corps noir et albédo [3.5 points]

La puissance émise par le Soleil vaut environ 3.96×10^{26} W. La distance moyenne entre le Soleil et la planète Mars vaut 227.9 millions de km et l'albédo de Mars vaut environ 0.16.

(a) Quelle est la constante solaire de Mars, en W/m^2?
(b) En considérant l'albédo et en divisant par 4 (car la puissance est absorbée par un disque et distribuée sur une sphère) quelle est l'intensité retournée vers l'espace, en W/m^2?
(c) En tenant compte de l'albédo, et en supposant que Mars irradie comme un corps noir, quelle serait la température de Mars, en °C?

Solution

(a) $I = \frac{P}{4\pi r^2} = \frac{3.96\times 10^{26}}{4\pi(227.9\times 10^9)^2} = \boxed{607 \text{ W/m}^2}$
(b) $\alpha \times \frac{I}{4} = 0.16\frac{607}{4} = \boxed{24.3 \text{ W/m}^2}$
(c) $I = (1-\alpha)\frac{I_0}{4} = \sigma T^4$ donne $T = \sqrt[4]{\frac{(1-\alpha)I_0}{4\sigma}} = T = \sqrt[4]{\frac{(1-0.16)607}{4\sigma}} = 218$ K$=\boxed{-55°\text{C}}$

Question 5. Concentration de CO_2 et température [2.5 points]

En novembre 2019, la concentration moyenne globale de CO_2 valait 410 ppm. De combien cette concentration devrait augmenter pour que la température globale moyenne augmente de $\Delta T = 3$°C, en supposant qu'une augmentation de $\Delta T_d = 6$°C résulterait du doublement de concentration?

Solution

De $\Delta T = \frac{\Delta T_d}{\ln 2} \ln\frac{\rho}{\rho_0}$, on obtient

$$\ln\frac{\rho}{\rho_0} = \frac{\Delta T}{\Delta T_d}\ln 2 = \ln 2^{\frac{\Delta T}{\Delta T_d}} \rightarrow \rho = \rho_0 \times 2^{\frac{\Delta T}{\Delta T_d}} = (410) \times 2^{\frac{3}{6}} = 579 \rightarrow \boxed{\text{augmentation de 169 ppm}}$$

... suite page suivante

Question 6. Émissions de carbone et modèle de Hubbert [5.0 points]

Supposez que la production totale mondiale Q_∞ de carbone due au charbon provienne de 270 000 quads de charbon à raison de 25 Mtonnes de carbone par quad. En 2015, le taux d'émission de carbone était de 10.5 Gtonnes (pour l'année 2015). On estime que ce taux d'émission va croître pour atteindre un maximum de $N_M = 35$ Gtonnes de carbone par année. (Tableau de la fonction gaussienne à la p. 8.)

(a) En utilisant le modèle de Hubbert, en quelle année T_M le taux d'émission sera-t-il maximum?
(b) Quel pourcentage de la production totale a été consommé en 2015?
(c) Déterminez en quelle année 30% de la production totale aura été consommé?
(d) En quelle année restera-t-il 20% de la production totale?

$\boxed{\text{Solutions}}$

(a) $Q_\infty = (270\ 000 \text{ quads})(25 \times 10^6 \text{ t/quad}) = 6.75 \times 10^{12}$ t, de sorte que $\sigma = \frac{Q_\infty}{N_M\sqrt{2\pi}} = \frac{6.75\times10^{12}}{35\times10^9\sqrt{2\pi}}$ 76.94 ans. Nous calculons ensuite le z de $N = N_M \exp\left(-\frac{z^2}{2}\right)$, qui donne $z = \sqrt{-2\ln\frac{N}{N_M}} = \sqrt{-2\ln\frac{10.5}{35}} =$ 1.5518. Comme 2015 est à gauche du pic, $T_M = t + z\sigma = 2015 + (1.5518)(76.94) = \boxed{2134}$

(b) De (a) on a $z = 1.5518$ et le tableau de la p. 8 donne 0.88 au centre, donc il reste 12% des deux côtés, divisé par deux qui donne $\boxed{6\%}$
(c) Quand 30% est consommé, on se trouve à gauche du pic. La fraction du centre est $100-2(30) = 40\%$ ou 0.40. Du tableau de la fonction gaussienne, $z = 0.525$. On a $t = T_M - z\sigma = 2134 - (0.525)(76.94) =$ $\boxed{2094}$

(d) Quand il restera 20%, nous serons à droite du pic, et la fraction du centre est $100 - 2(20) = 60\%$ ou 0.60. Du tableau de la fonction gaussienne, $z = 0.842$. On a $t = T_M + z\sigma = 2134 - (0.842)(76.94) =$ $\boxed{2199}$

... suite page suivante

Question 7. Concentration de CFC [5.0 points]

Considérez la pollution par le CFC-12 (dichlorodifluorométhane CF_2Cl_2), dont le temps de résidence vaut $\tau = 150$ ans. En 1990, sa concentration valait $\rho_0 = 0.484$ ppb (parties par milliard ou 10^{-9}) et supposez un taux d'émission de 0.38×10^{12} g/an. Si on réduit son émission à 20% de son taux initial,

(a) quelle sera la concentration atmosphérique ρ_∞ de CFC-12 à l'équilibre, en ppb? (Tableau périodique à la page 9.)
(b) Quelle sera la concentrations en fonction du temps? (La seule variable doit être t.)
(c) Quelle sera la concentration en 2030?
(d) Est-il suffisant de réduire le taux d'émission à 20% de son taux initial pour réduire la concentration dans l'atmosphère?
(e) À quel pourcentage du taux d'émission initial de 0.38×10^{12} g/an faudrait-il réduire le taux d'émission pour que la concentration à l'équilibre ρ_∞ soit plus petite que la concentration initiale de $\rho_0 = 0.484$ ppb?

Solution

(a) Masse molaire $w = 12+2\times19+2\times35.5 = 121$ g/mol. Avec $P = (0.2)\left(0.38 \times 10^{12}\right)$, la concentration à l'équilibre est donnée par

$$\rho_\infty = \frac{P\tau}{w}(5.63 \times 10^{-21}) = \frac{(0.2)(0.38 \times 10^{12})(150)}{121}(5.63 \times 10^{-21}) = 0.530\underbrace{\times 10^{-9}}_{\text{ppb}} = \boxed{0.530 \text{ ppb}}$$

(b) On a (t en années)

$$\rho(t) = \rho_0 \exp\left(-\frac{t}{\tau}\right) + \rho_\infty\left[1 - \exp\left(-\frac{t}{\tau}\right)\right] = \boxed{0.484 \exp\left(-\frac{t}{150}\right) + 0.530\left[1 - \exp\left(-\frac{t}{150}\right)\right] \text{ ppb}}$$

(c) En 2030, $t = 40$ et $\boxed{\rho = 0.495 \text{ ppb}}$
(d) $\boxed{\text{Non, car } \rho_\infty > \rho_0}$
(e) Calculont pour quelle fraction f qui donne $P = f\left(0.38 \times 10^{12}\right)$ on obtient $\rho_\infty = \rho_0$:

$$\rho_\infty = \frac{f(0.38 \times 10^{12})(150)}{121}(5.63\times10^{-21}) = 0.484\times10^{-9} \to f = \frac{(0.484 \times 10^{-9})(121)}{(0.38 \times 10^{12})(150)(5.63 \times 10^{-21})} = \boxed{18.2\%}$$

... suite page suivante

Question 8. Puissance électrique et température [3.0 points]

Supposez qu'une ligne de transport opère à une tension de 120 kV, et qu'elle soit faite d'un métal de coefficient thermique de résistivité $\alpha = 3.93 \times 10^{-3}$ °C. Le but de cette question est de déterminer si les pertes de puissance sont réduites s'il fait plus chaud ou plus froid. Quand la température extérieure passe de -25 °C à $= 25$ °C,

(a) de quelle pourcentage la puissance perdue dans la ligne change-t-elle?
(b) Est-ce que la puissance perdue augmente ou diminue?
(c) Par conséquent, dans quel cas la perte de puissance est-elle réduite: à température plus basse ou plus élevée?

Solutions

(a),(b) On utilise $P = \frac{V^2}{R} \propto \frac{1}{R}$ et $R(T) = R_0 \left[1 + \alpha\left(T - T_0\right)\right]$, d'où on obtient

$$\frac{P_1 - P_0}{P_0} = \frac{\frac{1}{R_1} - \frac{1}{R_0}}{\frac{1}{R_0}} = \frac{R_0 - R_1}{R_1} = \frac{-\alpha\left(T_1 - T_0\right)}{1 + \alpha\left(T_1 - T_0\right)} = \frac{-0.00393\left(25 - (-25)\right)}{1 + 0.00393\left(25 - (-25)\right)} = -0.1642$$

La puissance perdue $\boxed{\text{diminue de 16.4\%}}$
(c) Moins de puissance perdue $\boxed{\text{à température plus élevée}}$

Question 9. Puissance perdue dans une ligne de transport d'électricité [3.0 points]

Une centrale (analogue à une pile) génère de l'électricité avec une puissance de 20 MW et une tension de 200 kV. Le taux de dissipation dans la ligne de transport (analogue à une résistance) est 1.5 MW, soit 7.5% de la puissance générée. Si le matériau dont la ligne est constituée a une résistance par kilomètre de 0.20 ohm/km, quelle longueur aura donc cette ligne de transport? (Considérez seulement la centrale et la ligne de transport comme une pile en série avec une résistance.)

Solutions

Puissance perdue dans le transport: $P_T = RI^2$ et puissance générée: $P_G = VI$, avec le même I dans les deux cas. On obtient de ces deux équations (en utilisant $R = \lambda L$ où $\lambda = 0.20$ ohm/km)

$$P_T = \lambda L \left(\frac{P_G}{V}\right)^2 \rightarrow L = \frac{P_T}{\lambda}\left(\frac{V}{P_G}\right)^2 = \frac{1.5 \times 10^6}{0.2 \times 10^{-3}}\left(\frac{200 \times 10^3}{20 \times 10^6}\right)^2 = 7.5 \times 10^5 = \boxed{750 \text{ km}}$$

Question 10. Nature de la radioactivité [2.0 points]

Quel processus se produit-il dans un noyau lors d'une désintégration bêta négative? Remarque: le nombre total de nucléons reste inchangé.

$\boxed{\text{Réponse: un neutron se transforme en proton et électron (et anti-neutrino)}}$ (Donc le noyau compte un proton de plus, un neutron de moins et le même nombre de nucléons.)

... suite page suivante

Question 11. Demi-vie effective [3.0 points]

Du technétium 99 m est très utile en médecine nucléaire. Sa demi-vie physique vaut 6 heures et sa demi-vie biologique est d'une journée.

(a) Après combien de temps en restera-t-il 10%?
(b) Quel pourcentage restera dans l'organisme après 6 heures?

$\boxed{\text{Solution}}$

(a) La demi-vie effective est donnée par

$$\frac{1}{T_{1/2,e}} = \frac{1}{T_{1/2,p}} + \frac{1}{T_{1/2,b}} = \frac{1}{6} + \frac{1}{24} \rightarrow T_{1/2,e} = 4.8 \text{ heures}$$

$$N(t) = N_0 \exp\left(-\frac{t \ln 2}{T_{1/2,e}}\right) \rightarrow t = -\frac{T_{1/2,e}}{\ln 2} \ln \frac{N}{N_0} = -\frac{4.8}{\ln 2} \ln \frac{0.1 N_0}{N_0} = \boxed{16 \text{ heures}}$$

(b) $\frac{N(t)}{N_)} = \exp\left(-\frac{t \ln 2}{T_{1/2,e}}\right) = \exp\left(-\frac{6 \ln 2}{4.8}\right) = 0.42 = \boxed{42\%}$

Question 12. Énergie nucléaire 5.0 points]

Au début décembre 2019, des premiers ministres canadiens ont proposé la mise en place de "petits réacteurs (nucléaires) modulaires". Considérez un tel réacteur, qui produirait 600 MWe de puissance électrique avec un rendement de 35%. Supposez que chaque fission émette une énergie $E = 190$ MeV et qu'un noyau d'uranium-235 produise une fission.

(a) Tenant compte du rendement, quelle quantité d'énergie, en joules, doit être produite par jour?
(b) Quel nombre de fissions, par jour, est requis pour produire cette énergie?
(c) Ce nombre de fissions correspond à quelle masse d'uranium 235 par jour, en kg?
(d) Et à quelle masse d'uranium *naturel*?, en considérant seulement la fission d'uranium-235 (ignorant ainsi les isotopes de plutonium produits)?

$\boxed{\text{Solutions}}$

(a) Comme $\eta = \frac{P_{el}}{P_{total}}$, la puissance totale requise est $P_{total} = \frac{P_{el}}{\eta} = \frac{600}{0.35} = 1714$ MW. L'énergie requise par jour est donc $1714 \times 10^6 \times 24 \times 3600 = \boxed{1.48 \times 10^{14} \text{ J par jour}}$

(b) Le nombre de fissions par jour est $\frac{1.48 \times 10^{14}}{190 \times 1.6 \times 10^{-13}} = \boxed{4.87 \times 10^{24} \text{ fissions par jour}}$

(c) Ceci correspond à une masse d'U-235 (de 235 g/mole = 0.235 kg/mole) de

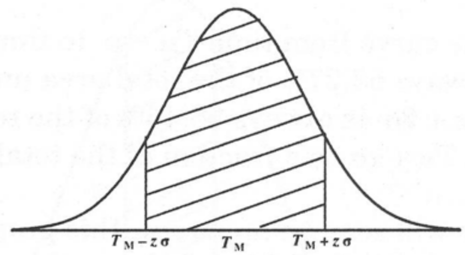
$$M_{U-235} = \frac{4.87 \times 10^{24} \times 0.235}{6.022 \times 10^{23}} = \boxed{1.90 \text{ kg}}$$

(d) Comme l'uranium naturel ne contient que 0.72% d'U-235, il faut donc une masse d'uranium naturel de

$$M_U = \frac{M_{U-235}}{0.0072} = \frac{1.90}{0.0072} = \boxed{264 \text{ kg}}$$

... tableau de la fonction gaussienne à la page 8

Table 3-1
Integral of the Gaussian Function vs. z



This table gives the integral of the Gaussian function from $T_M - z\sigma$ to $T_M + z\sigma$, shown as the shaded area to the right, as a decimal fraction of the total area under the function.

z	.00	.01	.02	.03	.04	.05	.06	.07	.08	.09
0.0	.0	.0080	.0160	.0239	.0319	.0399	.0478	.0558	.0638	.0717
0.1	.0797	.0876	.0955	.1034	.1113	.1192	.1271	.1350	.1428	.1507
0.2	.1585	.1663	.1741	.1819	.1897	.1974	.2051	.2128	.2205	.2282
0.3	.2358	.2434	.2510	.2586	.2661	.2737	.2812	.2886	.2961	.3035
0.4	.3108	.3182	.3255	.3328	.3401	.3473	.3545	.3616	.3688	.3759
0.5	.3829	.3899	.3969	.4039	.4108	.4177	.4245	.4313	.4381	.4448
0.6	.4515	.4581	.4647	.4713	.4778	.4843	.4907	.4971	.5035	.5098
0.7	.5161	.5223	.5285	.5346	.5407	.5467	.5527	.5587	.5646	.5705
0.8	.5763	.5821	.5878	.5935	.5991	.6047	.6102	.6157	.6211	.6265
0.9	.6319	.6372	.6424	.6476	.6528	.6579	.6629	.6680	.6729	.6778
1.0	.6827	.6875	.6923	.6970	.7017	.7063	.7109	.7154	.7199	.7243
1.1	.7287	.7330	.7373	.7415	.7457	.7499	.7540	.7580	.7620	.7660
1.2	.7699	.7737	.7775	.7813	.7850	.7887	.7923	.7959	.7995	.8029
1.3	.8064	.8098	.8132	.8165	.8198	.8230	.8262	.8293	.8324	.8355
1.4	.8385	.8415	.8444	.8473	.8501	.8529	.8557	.8584	.8611	.8638
1.5	.8664	.8690	.8715	.8740	.8764	.8789	.8812	.8836	.8859	.8882
1.6	.8904	.8926	.8948	.8969	.8990	.9011	.9031	.9051	.9070	.9090
1.7	.9109	.9127	.9146	.9164	.9181	.9199	.9216	.9233	.9249	.9265
1.8	.9281	.9297	.9312	.9327	.9342	.9357	.9371	.9385	.9399	.9412
1.9	.9426	.9439	.9451	.9464	.9476	.9488	.9500	.9512	.9523	.9534
2.0	.9545	.9556	.9566	.9576	.9586	.9596	.9606	.9615	.9625	.9634
2.1	.9643	.9651	.9660	.9668	.9676	.9684	.9692	.9700	.9707	.9715
2.2	.9722	.9729	.9736	.9743	.9749	.9756	.9762	.9768	.9774	.9780
2.3	.9786	.9791	.9797	.9802	.9807	.9812	.9817	.9822	.9827	.9832
2.4	.9836	.9840	.9845	.9849	.9853	.9857	.9861	.9865	.9869	.9872
2.5	.9876	.9879	.9883	.9886	.9889	.9892	.9895	.9898	.9901	.9904
2.6	.9907	.9909	.9912	.9915	.9917	.9920	.9922	.9924	.9926	.9929
2.7	.9931	.9933	.9935	.9937	.9939	.9940	.9942	.9944	.9946	.9947
2.8	.9949	.9950	.9952	.9953	.9955	.9956	.9958	.9959	.9960	.9961
2.9	.9963	.9964	.9965	.9966	.9967	.9968	.9969	.9970	.9971	.9972
3.0	.9973									
3.5	.9995									
4.0	.9999									

... tableau périodique à la page 9

TABLEAU PÉRIODIQUE DES ÉLÉMENTS

NUMÉRO DU GROUPE RECOMMANDATIONS DE L'IUPAC (1985) — 13
NUMÉRO DU GROUPE CHEMICAL ABSTRACT SERVICE (1986) — IIIA
NOMBRE ATOMIQUE — 5
MASSE ATOMIQUE RELATIVE (1) — 10.811
SYMBOLE — B
NOM DE L'ÉLÉMENT — BORE

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) **Ub** 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 et bonnes vacances!