

Nom

SOLUTIONS

Numéro d'étudiant.e _____

Professeur

Marc de Montigny

Date

Jeudi 14 décembre 2017, de 14 h à 17 h

Local

Gymnase de la Faculté Saint-Jean

INSTRUCTIONS

- Ce cahier contient **10 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 **45 points** et vaut **45%** de la note finale du cours.
- L'examen contient **14 questions**. Vous pouvez obtenir une partie des points même si votre réponse finale n'est pas correcte.
- Un tableau périodique se trouve à la page 10.
- Examen à livre fermé. Vous pouvez utiliser l'aide-mémoire (une feuille recto-verso) que vous aurez complété. À retourner avec l'examen quand vous aurez terminé.
- Matériel permis: aide-mémoire, crayon ou stylo, calculatrice. 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 demander une clarification!

Question 1. Concentration d'ammoniac dans l'air [2.5 points]

L'ammoniac NH_3 est un gaz incolore, irritant pour les yeux, le nez et la gorge, et peut être toxique s'il est inhalé en quantité assez grande. À une pression $P = 1 \text{ atm}$ et une température $T = 30 \text{ }^\circ\text{C}$, exprimez la concentration d'ammoniac en mg/m^3 pour le

- (a) seuil de perception, 30 ppm,
- (b) seuil d'effets réversibles, 80 ppm (si inhalé pendant une heure),
- (c) seuil d'effets irréversibles, 354 ppm, (inhalé pendant une heure), et le
- (d) seuil d'effets létaux de 3400 ppm (inhalé pendant une heure).

Solution

Pour l'ammoniac, on a $w = w_N + 3w_H = 14 + 3(1) = 17 \text{ g/mol}$. La concentration est donnée par

$$\left[\frac{\text{mg}}{\text{m}^3} \right] = \frac{[\text{ppm}]w}{22.4} \frac{273}{T} \frac{P}{1 \text{ atm}} = \frac{[\text{ppm}](17)}{22.4} \frac{273}{303} = 0.683787[\text{ppm}]$$

qui donne (a) $20.5 \text{ mg}/\text{m}^3$, (b) $54.7 \text{ mg}/\text{m}^3$, (c) $242 \text{ mg}/\text{m}^3$, (d) $2325 \text{ mg}/\text{m}^3$.

Question 2. Pétrole dans les océans [2.0 points]

- (a) Expliquez brièvement ce qu'est la vidange des ballasts d'un navire transporteur de pétrole.
- (b) Qu'est-ce qui contribue le plus à la pollution des océans par le pétrole : la vidange des ballasts ou les déversements accidentels?

Réponses

- (a) La vidange des ballast consiste à vider l'eau de mer qui a remplacé le pétrole, afin d'optimiser la navigation (en vue du principe d'Archimède).
- (b) La vidange des ballasts (Environ 3% du pétrole en mer est dû aux déversements accidentels et 20% à la vidange des ballasts.)

Question 3. Albédo [2.0 points]

- (a) Expliquez brièvement ce qu'est l'albédo d'une planète.
- (b) Un albédo plus élevé contribue-t-il à un réchauffement de la planète plus ou moins grand?

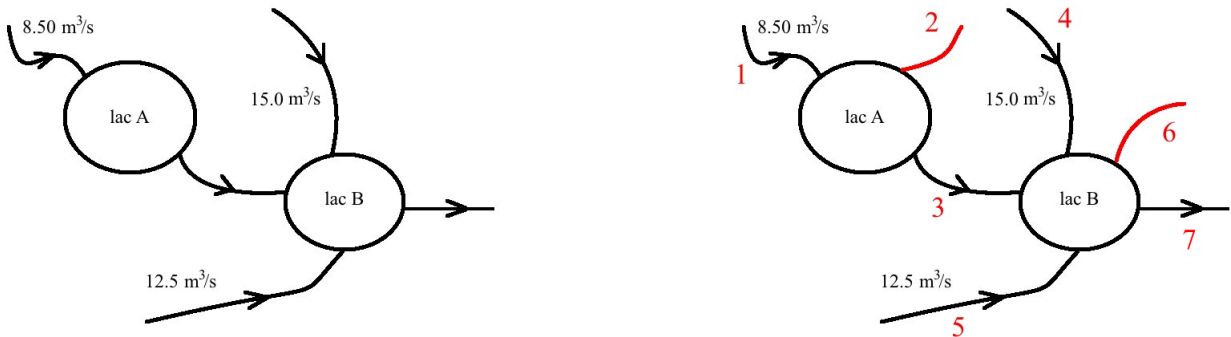
Réponses

- (a) L'albédo est la fraction de rayonnement solaire réfléchi vers l'espace par la planète.
- (b) Un réchauffement moins grand.

suite à la page suivante...

Question 4. Concentration de polluants dans un fluide [5.0 points]

Considérez les deux lacs et cinq rivières ci-dessous. Le lac A a un volume de 6250 m^3 , et est lié par une rivière au lac B, de volume 4870 m^3 . Une rivière alimente le lac A à un débit de $8.50 \text{ m}^3/\text{s}$ et une concentration de polluant de $25.0 \text{ g}/\text{m}^3$. Le lac B est alimenté par trois autres rivières: celle liée au lac A, la deuxième qui a un débit de $15.0 \text{ m}^3/\text{s}$ et une concentration du même polluant de $22.0 \text{ g}/\text{m}^3$, et la troisième de débit $12.5 \text{ m}^3/\text{s}$ et une concentration du polluant de $15.0 \text{ g}/\text{m}^3$. Finalement, une quatrième rivière sort du lac B. On suppose que l'eau s'évapore du lac A à un taux de $1.75 \text{ m}^3/\text{s}$ et du lac B à $2.25 \text{ m}^3/\text{s}$, sans que le polluant ne soit évaporé. On suppose un mélange idéal dans les deux lacs. Si le polluant est non-conservatif et converti à un taux de 1.85 hr^{-1} , quelle sera la concentration du polluant à l'équilibre dans chaque lac ?



Solution

À la figure de droite, on numérote en rouge les entrées et sorties de fluide, y compris les deux sorties par évaporation 2 et 6. Pour le lac A on a donc $Q_3 = Q_1 - Q_2 = 8.50 - 1.75 = 6.75 \text{ m}^3/\text{s}$, et pour le lac B on a $Q_7 = Q_3 + Q_4 + Q_5 - Q_6 = 6.75 + 15.0 + 12.5 - 2.25 = 32 \text{ m}^3/\text{s}$. Le taux de conversion du polluant dans les deux lacs vaut $\kappa = 1.85 \frac{1}{3600} = 5.13889 \times 10^{-4} \text{ s}^{-1}$.

Le équation du bilan matière se lit: entrée = sortie + conversion, avec conversion = $\kappa\rho V$ pour chaque lac. Pour le lac A, cette équation devient: $\rho_1 Q_1 = \rho_3 Q_3 + \kappa \rho_3 V_A$ et la concentration dans le lac A (et la rivière 3) est $\rho_A = \rho_3 = \frac{\rho_1 Q_1}{Q_3 + \kappa V_A} = \boxed{21.3 \text{ g}/\text{m}^3}$

Pour le lac B, l'équation du bilan matière devient $\rho_3 Q_3 + \rho_4 Q_4 + \rho_5 Q_5 = \rho_7 Q_7 + \kappa \rho_7 V_B$ et on obtient que la concentration dans le lac B (et la rivière 7) est $\rho_B = \rho_7 = \frac{\rho_3 Q_3 + \rho_4 Q_4 + \rho_5 Q_5}{Q_7 + \kappa V_B} = \boxed{19.2 \text{ g}/\text{m}^3}$

suite à la page suivante...

Question 5. Carbone atmosphérique [3.5 points]

Pendant l'année 2013, environ 4.659×10^{13} kWh de l'énergie mondiale fut produite à partir du charbon. En sachant que (1) 25.2 Mtonnes de carbone sont émises par quad de charbon consommé (rappel: 1 quad = 293×10^9 kWh), (2) 48% du carbone émis est capté par l'atmosphère, et (3) 2.12 Gtonnes de carbone atmosphérique correspondent à une hausse de 1 ppm de la concentration de CO₂ atmosphérique,

- (a) de combien a augmenté la concentration de CO₂ atmosphérique, en ppm, en 2013?
(b) De combien a augmenté la température globale au cours de 2013, si la concentration de CO₂ valait 394 ppm au début de 2013? Supposez qu'un doublement de concentration impliquerait une croissance de $\Delta T_d = 3.5^\circ\text{C}$.

Solutions

- (a) Le changement de concentration est donné par

$$(4.659 \times 10^{13} \text{ kWh}) \frac{1 \text{ quad}}{293 \times 10^9 \text{ kWh}} \frac{25.2 \text{ Mt}}{\text{quad}} (0.48) \frac{1 \text{ ppm}}{2120 \text{ Mt}} = \boxed{0.907 \text{ ppm}}$$

- (b) La variation de température vaut

$$\Delta T = \frac{\Delta T_d}{\ln 2} \ln \frac{\rho}{\rho_0} = \frac{3.5}{\ln 2} \ln \frac{394.907}{394} = \boxed{+0.0116 \text{ }^\circ\text{C}}$$

suite à la page suivante...

Question 6. Résistivité et température [4.0 points]

Considérez une ligne de transport d'électricité sous une tension de 130 kV. Le tableau ci-dessous donne le coefficient thermique α de plusieurs matériaux.

- (a) Pour un matériau dont $\alpha > 0$ avec une tension fixe, est-ce qu'augmenter la température fera augmenter ou diminuer la puissance dissipée?
 (b) Quel est le pourcentage de changement $\frac{P_f - P_i}{P_i}$ de la puissance dissipée pour une ligne faite de laiton (*brass*) quand la température passe de $T_i = 15^\circ\text{C}$ à $T_f = 25^\circ\text{C}$?
 (c) Répondez à la question (b) pour une ligne faite de cuivre (*copper*). Comparez votre réponse à (b).

Material	$\alpha [(\text{°C})^{-1}]$	Material	$\alpha [(\text{°C})^{-1}]$
Aluminum	0.0039	Lead	0.0043
Brass	0.0020	Manganin	0.00000
Carbon (graphite)	-0.0005	Mercury	0.00088
Constantan	0.00001	Nichrome	0.0004
Copper	0.00393	Silver	0.0038
Iron	0.0050	Tungsten	0.0045

Solutions

(a) De $P = \frac{V^2}{R}$ et $R(T) = R_0[1 + \alpha(T - T_0)]$ avec $\alpha > 0$, on voit que si $T > T_0$, R augmente, de sorte que P diminue. Avec $R_i = R_0$ et $R_f = R(T)$, on obtient

$$P_f - P_i = \frac{V^2}{R_f} - \frac{V^2}{R_i} = V^2 \left(\frac{R_i - R_f}{R_f R_i} \right) = \left(\frac{V^2}{R_0} \right) \frac{-\alpha(T - T_0)}{1 + \alpha(T - T_0)}$$

Si $T > T_0$ alors on voit que $P_f - P_i < 0$ et donc que P va diminuer.

(b) Le rapport du changement, avec $\alpha = 0.0020$ est

$$\frac{P_f - P_i}{P_i} = \frac{\frac{V^2}{R_f} - \frac{V^2}{R_i}}{\frac{V^2}{R_i}} = \frac{R_i - R_f}{R_f} = \frac{\alpha(T_0 - T)}{1 + \alpha(T - T_0)} = \frac{0.0020(15 - 25)}{1 + 0.0020(25 - 15)} = -1.96 = \boxed{-2.0\%}$$

(c) Avec $\alpha = 0.00393$, la relation précédente devient

$$\frac{P_f - P_i}{P_i} = \frac{0.00393(15 - 25)}{1 + 0.00393(25 - 15)} = -3.78 = \boxed{-3.8\%}$$

Qui est une plus grande différence qu'en (b).

Question 7. Puissance dissipée et rendement [4.5 points]

Une usine est alimentée à une tension de 2500 V et consomme une puissance de 120 kW. Cette énergie vient d'une centrale électrique éloignée au moyen d'une ligne de transport dont la résistance vaut 12 ohms. Considérez l'usine, la centrale et la résistance comme un circuit en série dont la pile joue le rôle de la centrale.

- (a) Quel est le courant I dans ce circuit?
- (b) Quelle est la puissance dissipée dans la ligne de transport?
- (c) Quelle puissance totale la centrale électrique doit-elle fournir ?
- (d) Quelle est la valeur du rendement $\eta = \frac{P_{\text{utile}}}{P_{\text{totale}}}$?
- (e) Quelle est la tension \mathcal{E} , en volts, à la centrale?

Solutions

- (a) À l'usine, on a $I = \frac{P}{V} = \frac{120000}{2500} = \boxed{48 \text{ A}}$
- (b) $P_{\text{perdue}} = RI^2 = (12)(48)^2 = 27648 = \boxed{27.6 \text{ kW}}$
- (c) $P_{\text{totale}} = P_{\text{usine}} + P_{\text{perdue}} = 120 + 27.6 = 147.6 \approx \boxed{148 \text{ kW}}$
- (d) Rendement $\eta = \frac{P_{\text{utile}}}{P_{\text{totale}}} = \frac{120000}{147600} = 0.813 = \boxed{81.3 \%}$
- (e) $\mathcal{E} = \frac{P_{\text{utile}}}{I} = \frac{147600}{48} = \boxed{3075 \text{ V}}$

Question 8. Courant alternatif et générateurs [4.0 points]

On constitue un générateur avec un cadre circulaire de rayon égal à 3.50 cm avec 750 enroulements en rotation à 1500 tours par minute dans un champ magnétique $B = 0.180 \text{ T}$. Ce cadre est branché à une résistance de 48.2 ohms.

- (a) Quelle est la valeur efficace V_{rms} de la tension de ce générateur ?
- (b) Quelle est la valeur maximale V_{max} de cette tension ?
- (c) Quelle est la valeur efficace I_{rms} du courant dans la résistance ?
- (d) Quelle est la puissance moyenne produite par ce générateur ?
- (e) Quelle est la puissance maximale dissipée dans la résistance ?

Solutions

- (b) $V_{\text{max}} = NBA\omega = (750)(0.180)(\pi(0.035)^2) \left(\frac{2\pi 1500}{60}\right) = \boxed{81.6 \text{ V}}$
- (a) $V_{\text{rms}} = \frac{V_{\text{max}}}{\sqrt{2}} = \boxed{57.7 \text{ V}}$
- (c) $I_{\text{rms}} = \frac{V_{\text{rms}}}{R} = \frac{57.7}{48.2} = \boxed{1.20 \text{ A}}$
- (d) $P_{\text{moy}} = V_{\text{rms}}I_{\text{rms}} = (57.7)(1.20) = \boxed{69.1 \text{ W}}$
- (e) $P_{\text{max}} = 2P_{\text{moy}} = 2(69.1) = \boxed{138 \text{ W}}$. On aurait pu utiliser $P_{\text{max}} = RI_{\text{max}}^2$ ou $P_{\text{max}} = \frac{V_{\text{max}}^2}{R}$.

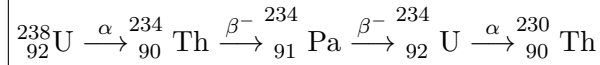
suite à la page suivante...

Question 9. Désintégration nucléaire [2.0 points]

À l'aide du tableau périodique à la fin de cet examen, écrivez le nom des isotopes manquants ci-dessous, en tenant compte du type de désintégration inscrit au-dessus de chaque flèche:



Réponses



Question 10. Section efficace [3.0 points]

Un morceau de 0.760 g de cobalt-59, dont la section efficace vaut 37 barns (1 barn = 10^{-28} m²), est bombardé de neutrons pendant 90 minutes, avec un flux de 8.85×10^{16} neutrons par s par m². Combien de noyaux de cobalt-59 seront ainsi transmutés en cobalt-60 en captant un neutron?

Solution

$$\Delta N = \frac{N_a m \sigma N}{A} = \frac{(6.022 \times 10^{23})(0.760)(37 \times 10^{-28})(8.85 \times 10^{16} \times 90 \times 60)}{59} = \boxed{1.37 \times 10^{16}}$$

Question 11. Énergie de la fission nucléaire [3.0 points]

En 2015, le Canada a généré 104 TWh ($T = 10^{12}$), soit 16.5% de son énergie totale, sous forme d'énergie nucléaire par la fission d'uranium-235. Si chaque fission d'uranium-235 libère une énergie égale à 200 MeV, et que l'uranium naturel utilisé contient 0.072% d'uranium-235, quelle masse d'*uranium naturel* serait requise pour produire 104 TWh? (Rappel: 1 kWh = 3.60 MJ)

Solution

La masse d'uranium naturelle est donnée par $m_U = \frac{m_{U235}}{0.0072}$, où la masse d'U-235 est donnée par

$$m_{U235} = \frac{E_{totale}}{E_1 U235} m_1 U235 = \frac{(104 \times 10^9 \text{ kWh})(3.6 \times 10^6 \text{ J/kWh})}{(200 \text{ MeV/noyau})(1.6 \times 10^{-13} \text{ J/MeV})} \frac{0.235 \text{ kg/mole}}{6.022 \times 10^{23} \text{ noyaux/mole}} = 4566 \text{ kg}$$

La masse d'uranium naturel requise est donc $4566 \text{ kg}/0.0072 = \boxed{634\,000 \text{ kg}}$

suite à la page suivante...

Question 12. Radioactivité de l'uranium [3.5 points]

Les isotopes d'uranium $^{235}_{92}\text{U}$ et $^{238}_{92}\text{U}$ sont radioactifs avec des demi-vies respectives de 704 millions d'années et 4.46 milliards d'années. À l'heure actuelle, l'abondance relative $^{235}_{92}\text{U}/^{238}_{92}\text{U}$ est d'environ 0.72%. Quel était ce rapport il y a un milliard d'années? (Indices: (1) l'abondance de chaque isotope est proportionnel au nombre de noyaux $N(t)$, (2) pour le passé, on prend t négatif.)

Solutions

L'abondance de chaque isotope varie dans le temps selon la relation $N(t) = N_0 \exp\left(-\frac{\ln 2}{T_{1/2}}t\right)$. L'abondance relative $^{235}_{92}\text{U}/^{238}_{92}\text{U}$ est donc donnée, en pourcentage, par

$$\frac{N_{235}(t)}{N_{238}(t)} = \frac{N_{235}(0)}{N_{238}(0)} \exp\left[-t \ln 2 \left(\frac{1}{T_{1/2}(235)} - \frac{1}{T_{1/2}(238)}\right)\right] = (0.72) \exp\left[-(-10^9) \ln 2 \left(\frac{1}{7.04 \times 10^8} - \frac{1}{4.46 \times 10^9}\right)\right]$$

$$= \boxed{1.6\%}$$

Question 13. Dosimétrie [3.0 points]

Dans une usine nucléaire, un employé est accidentellement exposé à un faisceau pendant 10 secondes. Si ce faisceau est constitué

- (1) de neutrons rapides de 1 MeV avec un débit de dose (en anglais, *dose rate*) de 1.0×10^{-4} Gy/hr,
- (2) de neutrons lents de 100 eV à un débit de dose de 0.82×10^{-4} Gy/hr, et
- (3) des rayons gamma à un débit de dose de 0.88×10^{-4} Gy/hr,

(a) quel est le débit de la dose totale équivalente H_T/t reçue, en mSv/hr? Les facteurs biologiques sont donnés ci-dessous.

(b) Quelle est la dose équivalente H_T reçue en mSv?

Radiation	w_R	Radiation	w_R
Photons, all energies	1	Neutrons, energy < 10 keV	5
Electrons, all energies	1	Neutrons, 10 - 100 keV	10
Protons, energy > 2 MeV	5	Neutrons, 100 keV - 2 MeV	20
α -particles, fission fragments	20	Neutrons, 2 - 20 MeV	10

Solutions

(a) Le débit de dose total est $\frac{H_T}{t} = \sum_R w_R \frac{D_R}{t}$ avec $w_R = 20$ (neutrons rapides), 5 (neutrons thermalisés) et 1 (rayons gamma), ce qui donne

$$\frac{H_T}{t} = (20)(1.0 \times 10^{-4}) + (5)(0.82 \times 10^{-4}) + (1)(0.88 \times 10^{-4}) = \boxed{2.5 \text{ mSv/hr}}$$

(b) $(2.5 \text{ mSv/hr})(10/3600) = \boxed{0.0069 \text{ mSv}}$

suite à la page suivante...

Question 14. Énergie éolienne [3.0 points]

Depuis 2007, la compagnie Enmax a développé un parc éolien à Taber, dans le sud de l'Alberta. La puissance totale générée vaut 81 MW, et le parc contient 37 turbines.

- (a) Quelle est la puissance produite par chaque turbine?
(b) Si chacune de ces turbines fournit sa puissance maximale de Betz, quel doit être le rayon des pales, si le vent a une vitesse de 30.0 km/h et la densité de l'air vaut 1.29 kg/m³?



Solutions

(a) La puissance produite par chaque turbine vaut $81 \text{ MW}/37 = 2.189 = \boxed{2.19 \text{ MW}}$

(b) La puissance de Betz est $P_{\text{max}} = \frac{1}{2} \rho \pi r^2 v^3 \frac{16}{27}$, ce qui donne $r = \sqrt{\frac{2P_{\text{max}}}{\rho \pi v^3} \frac{27}{16}} = \sqrt{\frac{2(2.189 \times 10^6)}{(1.29)\pi(30000/3600)^3} \frac{27}{16}} =$

$\boxed{56.1 \text{ m}}$

TABLEAU PÉRIODIQUE DES ÉLÉMENTS

GROUPE		18 VIIIA	
1 IA		2 4.0026	
1	H HYDROGÈNE		
2 IIA		10 VIIA	
3	Li LITHIUM	4	Be BÉRYLLIUM
3 IIIB		16 VIIB	
11	Na SODIUM	12	Mg MAGNÉSIIUM
4 IIB		14 IVA	
19	K POTASSIUM	20	Ca CALCIUM
5 IB		12 IIB	
37	Rb RUBIDIUM	38	Sr STRONTIUM
6 IIB		10 VIIIB	
55	Cs CÉSIIUM	56	Ba BARYIUM
7 VIIA		16 VIIB	
87	Fr FRANCIUM	88	Ra RADIUM

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

13	B BORE	14	C CARBONE	15	N AZOTE	16	O OXYGÈNE	17	F FLUOR	18	Ne NÉON
13	Al ALUMINIUM	14	Si SILICIUM	15	P PHOSPHORE	16	S SOUFRE	17	Cl CHLORE	18	Ar ARGON
13	Ga GALLIUM	14	Ge GERMANIUM	15	As ARSENIC	16	Se SÉLÉNIUM	17	Br BROME	18	Kr KRYPTON
49	In INDIUM	50	Sn ÉTAIN	51	Sb ANTIMOINE	52	Te TELLURE	53	I IODE	54	Xe XÉNON
81	Tl THALLIUM	82	Pb PLOMB	83	Bi BISMUTH	84	Po POLONIUM	85	At ASTATE	86	Rn RADON

NUMÉRO DU GROUPE RECOMMANDATIONS DE L'UPAC (1985)		NUMÉRO DU GROUPE CHEMICAL ABSTRACT SERVICE (1986)	
11 IB		11 IB	
29		29	
63.546		63.546	
Cu		Cu	
CUIVRE		CUIVRE	
106.42		106.42	
Ni		Ni	
NICKEL		NICKEL	

11	Cu CUIVRE	12	Zn ZINC
47	Ag ARGENT	48	Cd CADMIUM
79	Au OR	80	Hg MERCURE
111	Pt PLATINE	112	Au OR

109	Mt MEITNERIUM	110	Ds DUBNIUM
111	Rg ROSGOLD	112	Cn COOPERS

Lanthanides		Lanthanides	
57	La LANTHANE	58	Ce CÉRIUM
59	Pr PRASÉODYME	60	Nd NÉODYME
61	Pm PROMÉTHIUM	62	Sm SAMARIUM
63	Eu EUROPÉIUM	64	Gd GADOLINIUM
65	Tb TERBIUM	66	Dy DYSPROSIUM
67	Ho HOLMIUM	68	Er ERBIUM
69	Tm THULIUM	70	Yb YTTÉRIUM
71	Lu LUTÉTIUM	72	Hf HAFNIUM

Actinides		Actinides	
89	Ac ACTINIUM	90	Th THORIUM
91	Pa PROTACTINIUM	92	U URANIUM
93	Np NEPTUNIUM	94	Pu PLUTONIUM
95	Am AMÉRICIUM	96	Cm CURIUM
97	Bk BERKÉLIUM	98	Cf CALIFORNIUM
99	Es EINSTEINIUM	100	Fm FERMIUM
101	Md MENDELÉVIUM	102	No NOBELIUM
103	Lr LAWRENCIUM	104	Rf ROSEMIUM

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 du nucléotide 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.

Bon examen et bonnes vacances!