

EXAMEN DE FIN D'ÉTUDES SECONDAIRES CLASSIQUES
Sessions 2023 – QUESTIONNAIRE ÉCRIT

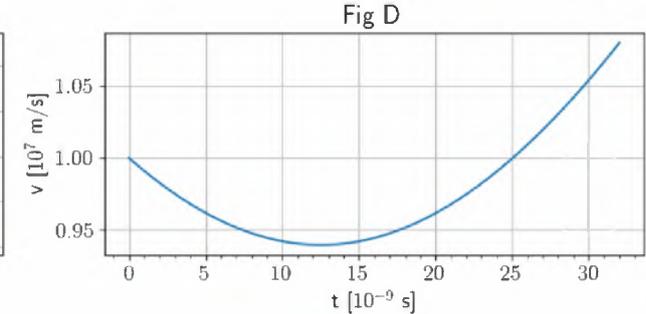
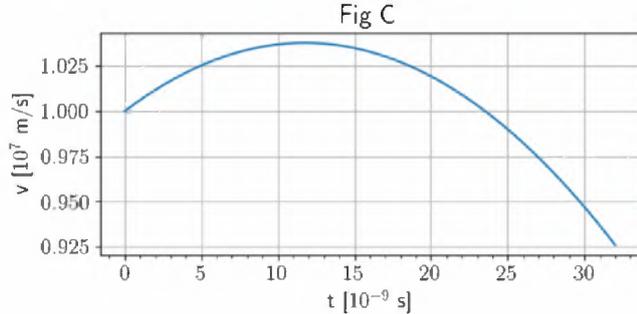
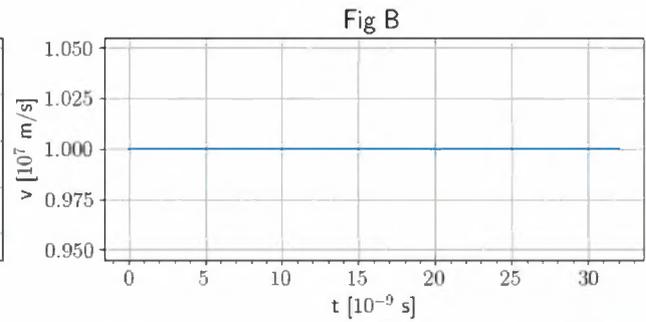
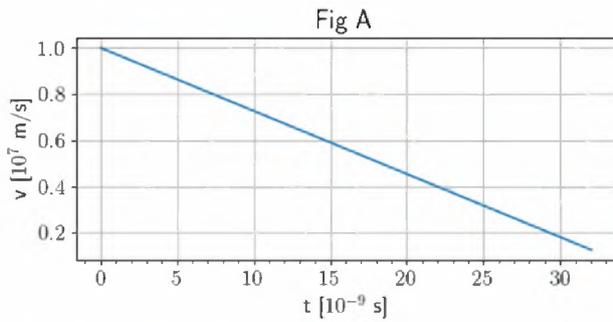
Date :	25.09.23	Durée :	08:15 - 11:15	Numéro candidat :	
Discipline :	Physique		Section(s) :	CB / CB-4LANG / CC / CC-4LANG	

1. Mouvement dans un champ électrique uniforme

16 p.

Des électrons pénètrent dans une région de l'espace où règne un champ électrique \vec{E} créé par deux plaques horizontales distantes de 10 cm, d'une longueur de 30 cm. Les électrons sont à mi-distance entre les 2 plaques lorsqu'ils pénètrent dans le champ électrique avec une vitesse initiale \vec{v}_0 . La norme de \vec{v}_0 est égale à 10^7 m/s et sa direction initiale pointe vers le haut avec un angle de 20° par rapport à l'horizontale. Les électrons sont déviés vers le bas et ressortent du dispositif à 2 cm de la plaque inférieure.

- En basant la réponse sur une figure, établir les équations horaires du mouvement des électrons ainsi que l'équation cartésienne de leur trajectoire. Indiquer sur la figure la force électrique \vec{F}_{el} , le champ électrique \vec{E} , la polarité des plaques et le repère choisi. 7 p.
- Quel est le type de mouvement des électrons entre les 2 plaques suivant la direction horizontale et la direction verticale ? 1 p.
- Une tension U appliquée aux plaques crée le champ électrique. Calculer U . 3 p.
- Écrire l'expression de la norme de \vec{v} en fonction du temps t et indiquer le graphique correct. 2 p.



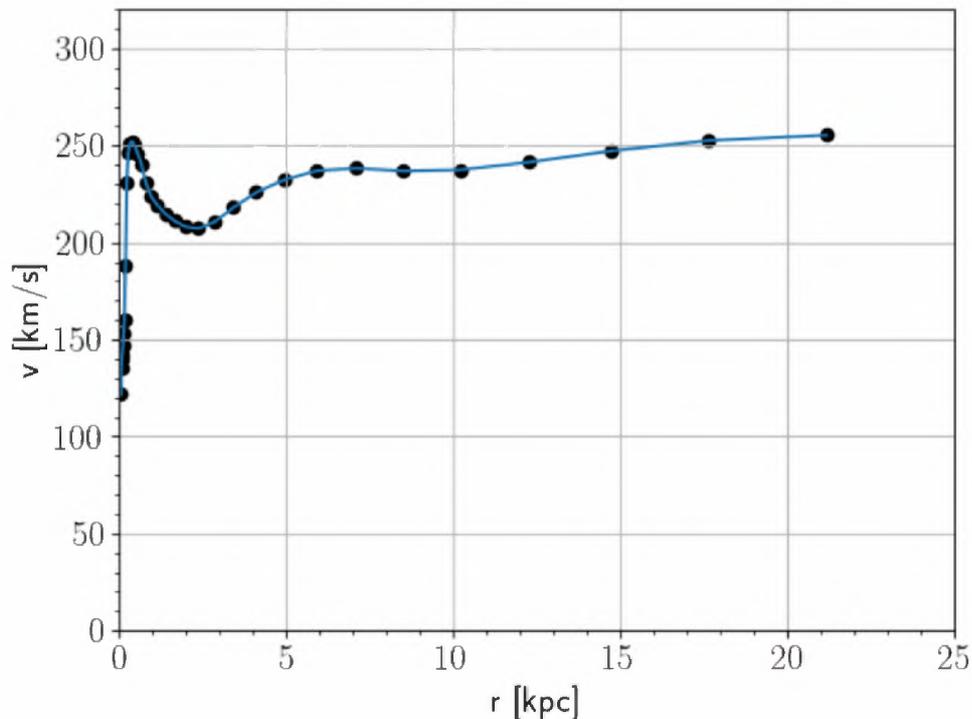
- Déduire du graphique l'instant où les électrons atteignent le sommet de leur trajectoire. Calculer la distance minimale qui les sépare alors de la plaque supérieure. 3 p.

2. Mouvement du Soleil**12 p.**

Le Soleil se trouve dans une galaxie nommée «Voie Lactée» qui représente une structure de matière dans l'espace liée par gravitation. Cette galaxie est composée d'étoiles, de gaz (surtout d'hydrogène et d'hélium) et de matière noire¹. Le Soleil se trouve à une distance $r_S = 8$ kpc du centre de la Voie Lactée. 1 pc est l'abréviation de 1 parsec qui est une unité de longueur utilisée en astronomie et qui correspond à $3,0857 \cdot 10^{16}$ m.

Le mouvement du Soleil est déterminé par toute la masse enfermée dans une sphère de rayon r_S autour du centre galactique. On peut assimiler cette sphère de masse M à une masse ponctuelle qui se situe au centre galactique.

- a) À partir d'une figure, en supposant que l'orbite du Soleil autour du centre galactique est plane et circulaire, montrer que le mouvement du Soleil est uniforme et établir l'expression de la vitesse v . 6 p.
- b) En vous basant sur le graphique ci-dessous qui représente la vitesse de rotation de gaz et d'étoiles de la Voie Lactée en fonction de la distance au centre galactique, déduire la vitesse de révolution du Soleil et calculer la masse M contenue à l'intérieur de r_S . Exprimer le résultat comme multiple de la masse du Soleil. 3 p.



Données prises de Sofue 2015

- c) De combien de millions d'années le Soleil a-t-il besoin pour effectuer une révolution complète? Combien de révolutions est-ce qu'il a faites depuis sa naissance il y a 4,5 milliards d'années? On suppose que le Soleil n'a pas changé d'orbite. 3 p.

¹La nature de la particule physique qui constitue la matière noire demeure inconnue jusqu'à présent. Seules les répercussions gravitationnelles de la matière noire sur la partie visible de l'Univers donnent de fortes indications que l'existence de la matière noire est bien réelle.

3. Ondes stationnaires**16 p.**

Une corde de longueur $L = 0,6$ m et de masse linéique $\mu = 5$ g/m est attachée à une extrémité à un vibreur capable d'effectuer des mouvements verticaux périodiques d'équation $y_v(t) = Y_m \cdot \sin(2\pi f \cdot t)$ tandis que l'autre extrémité de la corde est fixe. L'amplitude du vibreur est égale à $Y_m = 0,04$ m. On observe l'apparition d'ondes stationnaires lorsque le vibreur est mis en marche.

- a) Décrire et expliquer l'apparition d'ondes stationnaires dans la corde. 3 p.
 b) Montrer que le mouvement d'un point M de la corde peut être décrit par l'équation 6 p.

$$y_M(x, t) = A_M \cdot \sin(2\pi ft + \Phi) \quad ,$$

où $|A_M|$ décrit son amplitude et Φ est un terme de phase. En fonction de votre choix, vous trouvez que

- $A_M = 2 \cdot Y_m \cdot \sin(2\pi \frac{x}{\lambda})$ si x est la distance entre M et l'extrémité fixe.
 - $A_M = 2 \cdot Y_m \cdot \sin(2\pi \frac{L-x}{\lambda})$ si x est la distance entre le vibreur et M .
- c) En déduire l'expression de la position des noeuds de la corde en fonction de la longueur d'onde λ . 2 p.
 d) La corde contient 4 noeuds au total. Faire un croquis de la corde sachant que les positions du vibreur et de l'extrémité fixe de la corde constituent des noeuds. Déterminer la longueur d'onde λ . 3 p.
 e) Calculer l'intensité de la force qui tend la corde si la corde contient 4 noeuds pour une fréquence de 71 Hz. 2 p.

4. Radioactivité**9 p.**

La datation rubidium ($^{87}_{37}\text{Rb}$) - strontium ($^{87}_{38}\text{Sr}$) est une technique de datation radiométrique de la formation d'une roche basée sur la mesure de la présence de Rb et de Sr dans la roche. On suppose qu'il n'y avait pas de Sr au moment de la formation de la roche, et que tous les noyaux de Sr trouvés aujourd'hui proviennent de la désintégration de Rb en Sr.

- a. Expliquer ce qu'on entend sous le phénomène de la radioactivité. 1 p.
 b. Écrire l'équation de la désintégration d'un noyau de Rb en un noyau de Sr. 1 p.
 c. Donner la loi de décroissance radioactive du $^{87}_{37}\text{Rb}$. Expliquer la signification physique de la constante radioactive λ et donner son expression. 3 p.
 d. Définir la notion du temps de demi-vie $t_{1/2}$. 1 p.
 e. L'expression suivante relie le rapport d'atomes de Sr et de Rb mesuré aujourd'hui $r = \frac{N_{\text{Sr}}}{N_{\text{Rb}}}$ au temps t écoulé depuis la formation de la roche :

$$(1 + r) = e^{\frac{\ln 2 \cdot t}{t_{1/2}}}$$

On découvre un fossile dans une roche dans laquelle le rapport de Sr au Rb est de 0,71%. Quel est l'âge du fossile ?

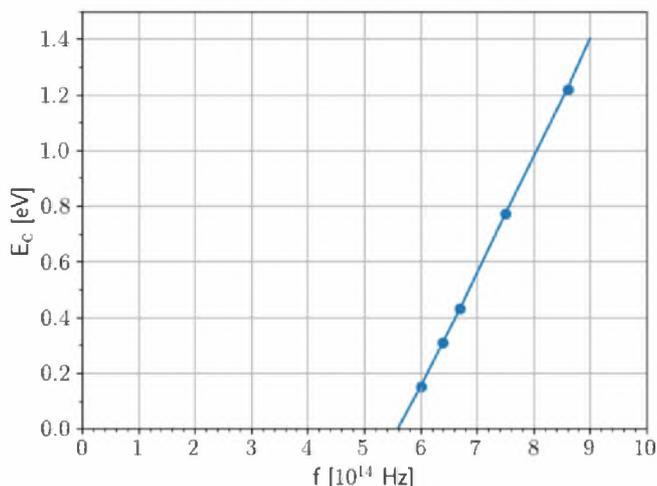
Le temps de demi-vie du $^{87}_{37}\text{Rb}$ est de 48,8 milliards d'années.

3 p.

5. Physique moderne

7 p.

- a. Quelle est la longueur d'onde de de Broglie d'un neutron non relativiste dont l'énergie cinétique est de $0,04 \text{ eV}$? 3 p.
- b. Le physicien R. Millikan entreprit à partir de l'année 1906 une série d'expériences pour réfuter la théorie d'Einstein expliquant l'effet photoélectrique. En effet, il éclaira des plaques métalliques avec de la lumière de fréquence f variable et mesura l'énergie cinétique E_c des électrons éjectés. Le graphique suivant contient les résultats des mesures :



Contrairement à ses intentions initiales, Millikan parvint à confirmer expérimentalement la théorie d'Einstein.

- Exprimer l'énergie cinétique des électrons en fonction de la fréquence de la lumière. 1 p.
- Déduire du graphique la fréquence seuil d'extraction du métal et calculer la longueur d'onde seuil associée. 2 p.
- Calculer le travail d'extraction (en eV). 1 p.

Relevé des principales constantes physiques

Grandeur physique	Symbole usuel	Valeur numérique	Unité
Constante d'Avogadro	N_A (ou L)	$6,022 \cdot 10^{23}$	mol^{-1}
Constante molaire des gaz parfaits	R	8,314	$\text{J K}^{-1} \text{mol}^{-1}$
Constante de gravitation	K (ou G)	$6,673 \cdot 10^{-11}$	$\text{N m}^2 \text{kg}^{-2}$
Constante électrique pour le vide	$k = \frac{1}{4\pi\epsilon_0}$	$8,988 \cdot 10^9$	$\text{N m}^2 \text{C}^{-2}$
Célérité de la lumière dans le vide	c	$2,998 \cdot 10^8$	m s^{-1}
Perméabilité du vide	μ_0	$4\pi \cdot 10^{-7}$	H m^{-1}
Permittivité du vide	$\epsilon_0 = \frac{1}{\mu_0 c^2}$	$8,854 \cdot 10^{-12}$	F m^{-1}
Charge élémentaire	e	$1,602 \cdot 10^{-19}$	C
Masse au repos de l'électron	m_e	$9,1094 \cdot 10^{-31}$ $5,4858 \cdot 10^{-4}$ 0,5110	kg u MeV/c^2
Masse au repos du proton	m_p	$1,6726 \cdot 10^{-27}$ 1,0073 938,27	kg u MeV/c^2
Masse au repos du neutron	m_n	$1,6749 \cdot 10^{-27}$ 1,0087 939,57	kg u MeV/c^2
Masse au repos d'une particule α	m_α	$6,6447 \cdot 10^{-27}$ 4,0015 3727,4	kg u MeV/c^2
Constante de Planck	h	$6,626 \cdot 10^{-34}$	J s
Constante de Rydberg de l'atome d'hydrogène	R_H	$1,097 \cdot 10^7$	m^{-1}
Rayon de Bohr	r_1 (ou a_0)	$5,292 \cdot 10^{-11}$	m
Energie de l'atome d'hydrogène dans l'état fondamental	E_1	-13,59	eV

Grandeurs liées à la Terre et au Soleil (elles peuvent dépendre du lieu ou du temps)		Valeur utilisée sauf indication contraire	
Composante horizontale du champ magnétique terrestre	B_h	$2 \cdot 10^{-5}$	T
Accélération de la pesanteur à la surface terrestre	g	9,81	m s^{-2}
Rayon moyen de la Terre	R	6370	km
Jour sidéral	T	86164	s
Masse de la Terre	M_T	$5,98 \cdot 10^{24}$	kg
Masse du Soleil	M_S	$1,99 \cdot 10^{30}$	kg

Conversion d'unités en usage avec le SI

1 angström	$= 1 \text{ \AA} = 10^{-10} \text{ m}$
1 électronvolt	$= 1 \text{ eV} = 1,602 \cdot 10^{-19} \text{ J}$
1 unité de masse atomique	$= 1 \text{ u} = 1,6605 \cdot 10^{-27} \text{ kg} = 931,49 \text{ MeV}/c^2$

Formules trigonométriques

$\sin^2 x + \cos^2 x = 1$ $\cos^2 x = \frac{1}{1 + \operatorname{tg}^2 x} \qquad \sin^2 x = \frac{\operatorname{tg}^2 x}{1 + \operatorname{tg}^2 x} \qquad 1 + \operatorname{tg}^2 x = \frac{1}{\cos^2 x}$		
$\begin{aligned} \sin(\pi - x) &= \sin x \\ \cos(\pi - x) &= -\cos x \\ \operatorname{tg}(\pi - x) &= -\operatorname{tg} x \end{aligned}$	$\begin{aligned} \sin(\pi + x) &= -\sin x \\ \cos(\pi + x) &= -\cos x \\ \operatorname{tg}(\pi + x) &= \operatorname{tg} x \end{aligned}$	$\begin{aligned} \sin(-x) &= -\sin x \\ \cos(-x) &= \cos x \\ \operatorname{tg}(-x) &= -\operatorname{tg} x \end{aligned}$
$\begin{aligned} \sin\left(\frac{\pi}{2} - x\right) &= \cos x \\ \cos\left(\frac{\pi}{2} - x\right) &= \sin x \\ \operatorname{tg}\left(\frac{\pi}{2} - x\right) &= \operatorname{cotg} x \end{aligned}$	$\begin{aligned} \sin\left(\frac{\pi}{2} + x\right) &= \cos x \\ \cos\left(\frac{\pi}{2} + x\right) &= -\sin x \\ \operatorname{tg}\left(\frac{\pi}{2} + x\right) &= -\operatorname{cotg} x \end{aligned}$	
$\begin{aligned} \sin(x + y) &= \sin x \cos y + \cos x \sin y \\ \sin(x - y) &= \sin x \cos y - \cos x \sin y \end{aligned}$		$\operatorname{tg}(x + y) = \frac{\operatorname{tg} x + \operatorname{tg} y}{1 - \operatorname{tg} x \operatorname{tg} y}$
$\begin{aligned} \cos(x + y) &= \cos x \cos y - \sin x \sin y \\ \cos(x - y) &= \cos x \cos y + \sin x \sin y \end{aligned}$		$\operatorname{tg}(x - y) = \frac{\operatorname{tg} x - \operatorname{tg} y}{1 + \operatorname{tg} x \operatorname{tg} y}$
$\begin{aligned} \sin 2x &= 2 \sin x \cos x \\ \cos 2x &= \cos^2 x - \sin^2 x \end{aligned}$		$\begin{aligned} 2 \cos^2 x &= 1 + \cos 2x \\ 2 \sin^2 x &= 1 - \cos 2x \end{aligned}$
$\sin 2x = \frac{2 \operatorname{tg} x}{1 + \operatorname{tg}^2 x}$	$\cos 2x = \frac{1 - \operatorname{tg}^2 x}{1 + \operatorname{tg}^2 x}$	$\operatorname{tg} 2x = \frac{2 \operatorname{tg} x}{1 - \operatorname{tg}^2 x}$
$\sin 3x = 3 \sin x - 4 \sin^3 x$		$\cos 3x = -3 \cos x + 4 \cos^3 x$
$\sin p + \sin q = 2 \sin \frac{p+q}{2} \cos \frac{p-q}{2}$	$\sin p - \sin q = 2 \sin \frac{p-q}{2} \cos \frac{p+q}{2}$	$\operatorname{tg} p + \operatorname{tg} q = \frac{\sin(p+q)}{\cos p \cos q}$ $\operatorname{tg} p - \operatorname{tg} q = \frac{\sin(p-q)}{\cos p \cos q}$
$\cos p + \cos q = 2 \cos \frac{p+q}{2} \cos \frac{p-q}{2}$	$\cos p - \cos q = -2 \sin \frac{p+q}{2} \sin \frac{p-q}{2}$	
$\begin{aligned} \sin x \cos y &= \frac{1}{2} [\sin(x+y) + \sin(x-y)] \\ \cos x \cos y &= \frac{1}{2} [\cos(x+y) + \cos(x-y)] \\ \sin x \sin y &= \frac{1}{2} [\cos(x-y) - \cos(x+y)] \end{aligned}$		

Tableau périodique des éléments chimiques

Groupe	I A	II A											III B	IV B	V B	VI B	VII B	0	
Période	1	2											13	14	15	16	17	18	
1	Hydrogène 1 H 1,007975																		Hélium 2 He 4,002602
2	Lithium 3 Li 6,9395	Béryllium 4 Be 9,0121831	← nom de l'élément (gaz, liquide ou solide à 0°C et 101,3 kPa) ← numéro atomique ← symbole chimique ← masse atomique relative [ou celle de l'isotope le plus stable] [CIAAW "Atomic Weights 2013" + rev. 2015]										Bore 5 B 10,8135	Carbone 6 C 12,0106	Azote 7 N 14,006455	Oxygène 8 O 15,99940	Fluor 9 F 18,99840316	Néon 10 Ne 20,1797 (6)	
3	Sodium 11 Na 22,98976928	Magnésium 12 Mg 24,3055	III A	IV A	V A	VI A	VII A	VIII			I B	II B	Aluminium 13 Al 26,9815385	Silicium 14 Si 28,085 (1)	Phosphore 15 P 30,97376200	Soufre 16 S 32,0675	Chlore 17 Cl 35,4515	Argon 18 Ar 39,948 (1)	
4	Potassium 19 K 39,0983 (1)	Calcium 20 Ca 40,078 (4)	Scandium 21 Sc 44,955908 (5)	Titane 22 Ti 47,867 (1)	Vanadium 23 V 50,9415 (1)	Chrome 24 Cr 51,9961 (6)	Manganèse 25 Mn 54,938044	Fer 26 Fe 55,845 (2)	Cobalt 27 Co 58,933194	Nickel 28 Ni 58,6934 (4)	Cuivre 29 Cu 63,546 (3)	Zinc 30 Zn 65,38 (2)	Gallium 31 Ga 69,723 (1)	Germanium 32 Ge 72,630 (8)	Arsenic 33 As 74,921595	Sélénium 34 Se 78,971 (8)	Brome 35 Br 79,904	Krypton 36 Kr 83,798 (2)	
5	Rubidium 37 Rb 85,4678 (3)	Strontium 38 Sr 87,62 (1)	Yttrium 39 Y 88,90584	Zirconium 40 Zr 91,224 (2)	Niobium 41 Nb 92,90637	Molybdène 42 Mo 95,95 (1)	Technétium 43 Tc [98]	Ruthénium 44 Ru 101,07 (2)	Rhodium 45 Rh 102,90550	Palladium 46 Pd 106,42 (1)	Argent 47 Ag 107,8682 (2)	Cadmium 48 Cd 112,414 (4)	Indium 49 In 114,818 (1)	Étain 50 Sn 118,710 (7)	Antimoine 51 Sb 121,760 (1)	Tellure 52 Te 127,60 (3)	Iode 53 I 126,90447	Xénon 54 Xe 131,293 (6)	
6	Césium 55 Cs 132,905452	Baryum 56 Ba 137,327 (7)	Lanthanides 57-71	Hafnium 72 Hf 178,49 (2)	Tantale 73 Ta 180,94788	Tungstène 74 W 183,84 (1)	Rhénium 75 Re 186,207 (1)	Osmium 76 Os 190,23 (3)	Iridium 77 Ir 192,217 (3)	Platine 78 Pt 195,084 (9)	Or 79 Au 196,966569	Mercur 80 Hg 200,592 (3)	Thallium 81 Tl 204,3835	Plomb 82 Pb 207,2 (1)	Bismuth 83 Bi 208,98040	Polonium 84 Po [209]	Astate 85 At [210]	Radon 86 Rn [222]	
7	Francium 87 Fr [223]	Radium 88 Ra [226]	Actinides 89-103	Rutherfordium 104 Rf [267]	Dubnium 105 Db [268]	Seaborgium 106 Sg [269]	Bohrium 107 Bh [270]	Hassium 108 Hs [277]	Meitnérium 109 Mt [278]	Darmstadtium 110 Ds [281]	Roentgenium 111 Rg [282]	Copernicium 112 Cn [285]	Nihonium 113 Nh [286]	Flérovium 114 Fl [289]	Moscovium 115 Mc [289]	Livermorium 116 Lv [293]	Tennessee 117 Ts [294]	Oganesson 118 Og [294]	
			Lanthane 57 La 138,90547	Cérium 58 Ce 140,116 (1)	Praséodyme 59 Pr 140,90766	Néodyme 60 Nd 144,242 (3)	Prométhium 61 Pm [145]	Samarium 62 Sm 150,36 (2)	Europium 63 Eu 151,964 (1)	Gadolinium 64 Gd 157,25 (3)	Terbium 65 Tb 158,92535	Dysprosium 66 Dy 162,500 (1)	Holmium 67 Ho 164,93033	Erbium 68 Er 167,259 (3)	Thulium 69 Tm 168,93422	Ytterbium 70 Yb 173,045	Lutécium 71 Lu 174,9668		
			Actinium 89 Ac [227]	Thorium 90 Th 232,0377	Protactinium 91 Pa 231,03588	Uranium 92 U 238,02891	Neptunium 93 Np [237]	Plutonium 94 Pu [244]	Américium 95 Am [243]	Curium 96 Cm [247]	Berkélium 97 Bk [247]	Californium 98 Cf [251]	Einsteinium 99 Es [252]	Fermium 100 Fm [257]	Mendélévium 101 Md [258]	Nobélium 102 No [259]	Lawrencium 103 Lr [266]		

Métaux							Non métaux						
Alcalins	Alcalino-terreux	Lanthanides	Actinides	Métaux de transition	Métaux pauvres	Métalloïdes	Autres non-métaux	Halogènes	Gaz nobles	Non classés	primordial	désintégration d'autres éléments	synthétique