

CONCOURS EXTERNE
DE TECHNICIEN PRINCIPAL
DE POLICE TECHNIQUE ET SCIENTIFIQUE
DE LA POLICE NATIONALE

SESSION 2018

CHIMIE ANALYTIQUE

**Épreuve écrite de connaissance
se rapportant à la spécialité choisie**

Durée de l'épreuve : 3 heures – Coefficient : 2

Il vous appartient de vous assurer que le sujet en votre possession comporte la totalité des pages (15 pages) et des annexes (6) ; à noter que vous aurez parfois à utiliser celles-ci sans pour autant qu'il en soit fait mention explicite.

Il vous est demandé de répondre avec clarté à chaque question, sur votre feuille de composition (coin gommé).

Les réponses du QCM de l'exercice II (page 9 à 11) devront être portées directement sur le sujet.

Vous rendrez le sujet dans son intégralité avec votre feuille de composition

**Matériels autorisés : - calculatrice non programmable
- règle graduée**

Le sujet est noté sur 40 points. La notation sera exprimée sur 20 points.

Sous peine d'annulation de leur épreuve, les candidats ne devront faire apparaître aucun signe ou mention pouvant permettre l'identification des copies et intercalaires.

Liste des Annexes en fin de document

Annexe 1 : La cocaïne...

Annexe 2 : Relevé d'analyses

Annexe 3 : Composés d'intérêt dans le cadre de l'analyse de la cocaïne

Annexe 4 : Le MSTFA

Annexe 5 : Table des nombres d'onde des vibrations de valence et de déformation

Annexe 6 : Tableau périodique des éléments

Références :

ONU DC, *Méthodes recommandées pour l'identification et l'analyse de la cocaïne contenue dans des substances saisies*, **2012**.

Guéniat O. et Esseiva P., *Le profilage de l'héroïne et de la cocaïne Une méthodologie moderne de lutte contre le trafic illicite*, Lausanne : Presses polytechniques et universitaires romandes, **2005**.

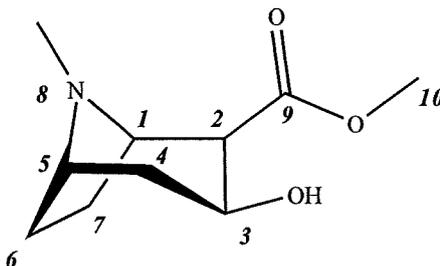
Floriani et al., *Development and validation of an HPLC-DAD method for simultaneous determination of cocaine, benzoic acid, benzoylecgonine and the main adulterants found in products based on cocaine*, Forensic Science International (235), **2014**.

Exercice I : Analyse de la cocaïne

Partie 1 : Synthèse et caractérisation (15 points)

Partie 1A : synthèse de la cocaïne par benzylation (9 points)

De la méthylecgonine base (3,62 g ; nom IUPAC : 3-hydroxy-8-méthyl-8-azabicyclo[3.2.1]octane-2-carboxylate de méthyle) est dissoute dans du benzène sec (200 mL) et refroidie dans un bain de glace. Du chlorure de benzoyle (3,05 g) dans du benzène sec (50 mL) est ajouté lentement à la solution de méthylecgonine et le mélange est chauffé à reflux pendant 16 heures. Le milieu réactionnel devient plus visqueux et l'on observe la précipitation de cristaux blancs de chlorhydrate de cocaïne. Le mélange est refroidi et extrait à l'aide d'une solution molaire d'acide chlorhydrique (3 x 50 mL). L'extrait d'acide chlorhydrique combiné est alors alcalinisé grâce à une solution d'ammoniaque puis le précipité de cocaïne blanc obtenu est filtré et lavé à l'eau. La cocaïne base est dissoute dans de l'éther diéthylique, lavée à l'eau (1 x 50 mL) puis à l'eau salée (1 x 50 mL), séchée, filtrée et concentrée sous pression réduite afin d'obtenir un solide blanc. Ce solide est purifié par chromatographie éclair (élution à l'aide d'un mélange de CHCl_3 et d'acétate d'éthyle dans un rapport 80/20) afin d'obtenir de la cocaïne base brute (2,23 g). Cette cocaïne est recristallisée à l'aide de n-hexane et donne des cristaux blancs en forme d'aiguilles. Ces cristaux sont broyés et séchés sous vide poussé à 40 °C afin d'obtenir de la cocaïne base (1,57 g). On donne la formule de la méthylecgonine base :



Structure de la méthylecgonine

Questions :

- 1/ Calculer la masse molaire de la méthylecgonine.
- 2/ Combien de carbone(s) asymétrique(s) contient cette molécule ? Identifier le(s).
- 3/ La masse molaire de la cocaïne base est de 303,4 g/mol alors que la forme chlorhydrate est de 339,8 g/mol. Expliquer la différence.
- 4/ Proposer une formule brute et une formule développée de la cocaïne base.
- 5/ Après avoir identifié le réactif limitant (justifier), calculer le rendement final de la réaction.
- 6/ Pourquoi utiliser un solvant (benzène) sec dans cette réaction ?
- 7/ D'après le protocole précédent, remplir le tableau ci-dessous en précisant si oui ou non chaque composé est soluble dans le solvant correspondant (NB : tableau à reproduire sur la copie).

Solvant	Chlorhydrate de cocaïne	Cocaïne
Eau (acide)		
Eau (base)		
Benzène		
Ether diéthylique		
n-hexane		

8/ Quel est le nom du solvant CHCl_3 utilisé pour la purification ? Est-ce un solvant plus polaire ou moins polaire que l'acétate d'éthyle ?

9/ Il est dit dans le protocole : « La cocaïne base est dissoute dans de l'éther diéthylique, lavée à l'eau (1 x 50 mL) puis à l'eau salée (1 x 50 mL), séchée, filtrée et concentrée sous pression réduite afin d'obtenir un solide blanc » ; En nommant le ou les composés éventuellement utilisés, expliquez comment vous réaliseriez cette étape de séchage.

Partie 1B. Caractérisation de la cocaïne (6 points)

10/ D'après les données CPG/SM fournies en annexe, un pic à $m/z = 77$ Th apparaît. Donner une formule brute et développée de cet ion. Comment est appelé le pic à $m/z = 303$ Th ?

11/ Les données UV/Vis de la cocaïne sont données en annexes. Dans le Système International quelle est l'unité du coefficient d'extinction molaire ?

12/ Un test olfactif simple permet d'identifier la cocaïne dans un échantillon. Le protocole est le suivant :

Dissoudre 1 g d'hydroxyde de sodium dans 20 mL de méthanol. Bien humidifier l'échantillon séché avec le réactif ainsi formé. Après avoir laissé l'excès d'alcool s'évaporer, comparer l'odeur caractéristique du résidu à celle d'un étalon de cocaïne (odeur de goyave).

Question :

Sachant que sur une centaine de drogues testées, seule la piperocaïne (cf. annexes) donne dans les mêmes conditions la même odeur, expliquer la réaction en identifiant la molécule qui possède cette odeur caractéristique de goyave.

13/ Le test colorimétrique décrit ci-après est connu sous le nom de test de Scott (test au thiocyanate de cobalt $[\text{Co}(\text{SCN})_2]$).

Test de Scott

Réactif 1: Dissoudre 1g de thiocyanate de cobalt dans 50 mL d'acide acétique à 10%vol ($d = 1,0492$; nom IUPAC : acide éthanoïque), puis ajouter 50 mL de glycérine.

Réactif 2: Acide chlorhydrique (37%, $d = 1,19$)

Réactif 3: Chloroforme

Méthode:

Étape 1: Verser une petite quantité (pas plus de 1 mg) de la substance suspecte dans un tube à essai. Ajouter cinq gouttes du réactif 1 et agiter le tube à essai pendant 10 secondes. En présence de cocaïne ou d'une substance apparentée, la solution devient bleue et un précipité bleu apparaît.

Étape 2: Ajouter une goutte du réactif 2 et agiter le mélange pendant quelques secondes. La solution doit virer du bleu au rose. Si la couleur ne change pas, ajouter encore une goutte de réactif. Si elle ne change toujours pas, effectuer à nouveau le test avec une quantité plus faible de substance suspecte.

Étape 3: Ajouter cinq gouttes du réactif 3 et agiter. En présence de cocaïne, la couche de chloroforme (inférieure) prend une couleur bleue intense, tandis que la couche supérieure est rose.

Questions :

13/a. Quel est le degré d'oxydation du cobalt utilisé lors du test de Scott?

13/b. Quelle est la concentration molaire de l'acide chlorhydrique utilisé dans le réactif 2 du test de Scott ?

13/c. D'un point de vue analytique, qu'appelle-t-on un faux positif ? D'après les informations contenues dans l'ensemble des documents fournis (cf. annexe), citer un exemple de composé susceptible d'être récupéré lors d'une saisie et de donner un faux positif au test de Scott.

14/ Le benzoylecgonine (nom IUPAC : acide 3-benzoyloxy-8-méthyl-8-azabicyclo[3.2.1]octane-4-carboxylique) se retrouve dans l'urine des utilisateurs de cocaïne mais aussi dans leur plasma sanguin. Elle résulte de l'hydrolyse partielle de la cocaïne dans le foie et est catalysée par des enzymes, les carboxylestérases. Dessiner cette molécule.

Partie 2 : analyse chromatographique d'un échantillon de cocaïne (20 points)

Partie 2A : Analyse CPG/FID (7 points)

Une des méthodes analytiques qui permet de quantifier les différents constituants de la cocaïne est la CPG/FID. Les conditions analytiques de la méthode mise au point par O.Guéniat [Guéniat, 2001] sont les suivantes :

Colonne : DB1 (100% diméthylpolysiloxane) ; 30m x 0,25mm x 0,25 μ m ; Gaz vecteur : He 1mL/min ; Injecteur :230°C ; Détecteur : 320°C ; Four :180°C (1min) ;4°C/min, 275°C (5,25 min) ; Volume d'injection: 3 μ L ; Ratio de split : 50:1

Chaque échantillon est préparé suivant ce protocole :

- Peser environ exactement 8 mg d'échantillon
- Ajouter 500 μ L d'une solution contenant 1mg/mL d'hénicosane (standard interne) dans du dichlorométhane/pyridine (5:1). L'utilisation d'un standard interne permet d'avoir une bonne précision et reproductibilité.
- Ajouter 100 μ L de MSTFA
- Chauffer à 80°C pendant 30 min
- Laisser reposer 1 heure
- Injecter 3 μ L

Questions :

1/ Que signifie CPG/FID ?

2/ A quoi correspondent les différentes dimensions de la colonne ?

3/ Au niveau de l'injecteur, le ratio de split est fixé à 50:1 ; quelle en est la signification ?

4/ Le détecteur est un détecteur FID. Son fonctionnement nécessite des gaz, lesquels ? Comment vérifie-t-on, expérimentalement que ce détecteur est bien en mode « On » ?

5/ Quel autre type de gaz vecteur peut être utilisé en CPG/FID ? Quelles doivent être ses spécificités ?

6/ Quel est le mode de fonctionnement du four colonne ? Quel en est son intérêt ?

7/ Cette méthode chromatographique utilise un étalon interne. Quels sont les critères essentiels pour choisir de façon appropriée, un étalon interne ?

8/ La méthode de O.Guéniat inclut lors de la phase de préparation de l'échantillon, une dérivation au MSTFA (cf. annexe). Quel est en général, l'intérêt de cette étape ?

9/ Problème :

Un technicien analyse un échantillon avec les conditions analytiques de la méthode d'O. Guéniat, mais avec une colonne de longueur 15m. Quelle(s) conséquence(s) cela va-t-il avoir sur le chromatogramme ?

Partie 2B : Analyse HPLC/DAD (13 points)

Les adjuvants de la cocaïne ont été étudiés par HPLC :

Colonne : C18, 4,6 x 100 mm, 5 μ m ; Phase mobile : Constituée par un mélange de 2 solvants : Eau ultrapure acidifiée avec de l'acide formique (pH = 2,7) et acétonitrile ; Débit : 1 mL/min ; Détecteur DAD

On obtient un chromatogramme dont les caractéristiques sont les suivantes

N° du pic	Nom	t _R en min	δ en min
0	Pic du solvant (temps mort)	2,0	-
1	Caféine	5,7	0,134
2	Benzoylécgonine	6,1	0,144
3	Lidocaine	6,7	0,158
4	Cocaine	7,9	0,186
5	Acide benzoïque	8,4	0,198
6	Phenacétin	9	0,212
7	Benzocaine	10,5	0,247
8	Diltiazem	11,3	0,266

10/ Rappeler brièvement, en 3 lignes maximum, le principe de l'HPLC

11/ La colonne greffée C18 est-elle polaire ou apolaire ?

12/ Que représentent les valeurs indiquées pour la colonne : 4,6 x 100 mm, 5 μ m ?

13/ Un des solvants utilisé est de l'eau ultrapure acidifiée par de l'acide formique (HCOOH).

13a. Écrire les différents équilibres chimiques qui s'établissent dans cette solution aqueuse.

13b. A partir du pH de cette solution (pH = 2,7), calculer la concentration molaire en

acide formique ?

13c. D'un point de vue pratique, quel type d'électrodes utiliseriez-vous pour mesurer le pH de la solution ?

13d. On souhaite utiliser une solution tampon pour la phase aqueuse, comment préparez vous une solution tampon ?

14/ Calculer le facteur de capacité K' pour la cocaïne. Que représente-t-il ?

15/ De quels paramètres dépend le facteur de capacité :

- a - De la phase stationnaire
- b - De la phase mobile
- c - De la température de la colonne
- d – Du débit de la phase mobile

16/ A partir des données du pic n°4, calculer le nombre de plateaux théorique de la colonne.

17/ Comment évolue la HEPT en fonction du débit ?

18/ Calculer le facteur de résolution R_s entre les pics 3 et 4. Sont-ils bien « résolus » (justifier) ?

19/ Citer 3 autres types de détecteurs pouvant être utilisés en HPLC ?

Données : Acide Formique HCOOH : $\text{pK}_a (\text{HCOOH} / \text{HCOO}^-) = 3,8$ (à 298 K)

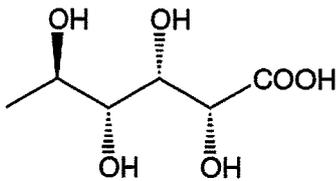
Exercice II : QCM (5 points)

NB : si pour une question plusieurs réponses sont vraies, alors toutes doivent être cochées pour avoir le point

1/ Dans la loi de Beer Lambert...

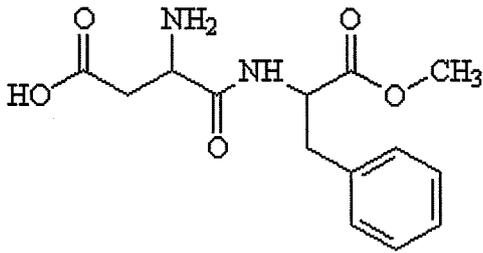
- Le coefficient d'extinction molaire dépend de la longueur de la cuve
- Le coefficient d'extinction molaire dépend de la longueur d'onde
- Le coefficient d'extinction molaire dépend de la concentration molaire
- Le coefficient d'extinction molaire dépend de la température
- Le coefficient d'extinction molaire dépend du solvant

2/ Quel est le nom de ce composé ?



- acide (2S,3R,4S,5S)-2,3,4,5-tetrahydroxyhexanoïque
- acide (2S,3R,4R,5R)-2,3,4,5-tetrahydroxyhexanoïque
- acide (2R,3S,4R,5R)-2,3,4,5-tetrahydroxyhexanoïque
- acide (2R,3R,4R,5S)-2,3,4,5-tetrahydroxyhexanoïque
- acide (2S,3R,4S,5S)-2,3,4,5-tetrahydroxyhexanoïque

3/ L'aspartame comporte une fonction :

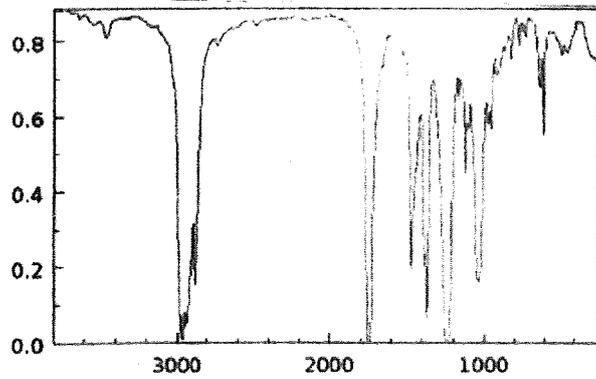
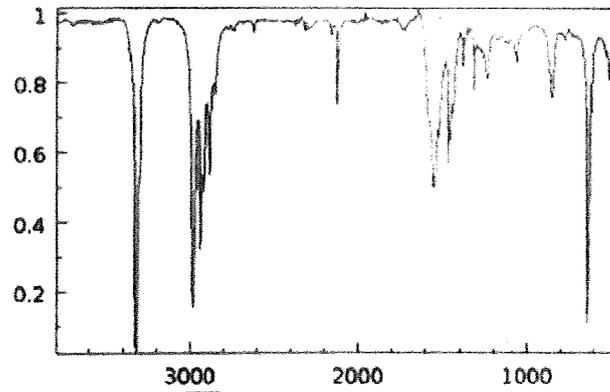
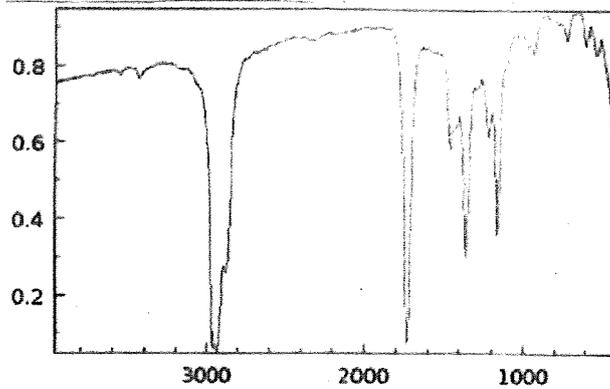
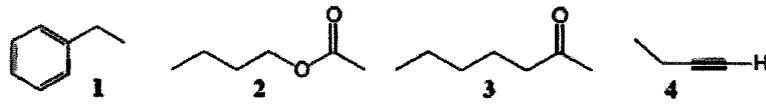


- Aldéhyde
- Acide
- Alcool
- Ester
- Amide
- Amine
- Cétone

4/ L'aspartame (cf. ci-dessus) possède deux valeurs de pKa : 3.1 et 7.9. Sur quelle fonction est rattaché le proton correspondant à un pKa de 3.1 ?

- Aldéhyde
- Acide
- Alcool
- Ester
- Amide
- Amine
- Cétone

5/ A quel composé n'appartient aucun des spectres IR suivants :



- 1
- 2
- 3
- 4

Annexes

Annexe 1 : La cocaïne...

Synonyme: Benzoate d'ester méthylique d'ecgonine

- Point de fusion: 98 °C (base), 195 °C (chlorhydrate)
- Données de CPG/SM (abondance en % entre parenthèses):

m/z: 303 (M+, 17), 182 (71), 105 (29), 96 (24), 94 (36), 82 (100), 77 (35)

- Données infrarouges (pastille de KBr) :

Nombres d'onde des principaux pics: 1 710, 1 738, 1 275, 1 110, 712 et 1 037 cm⁻¹

- Données UV:

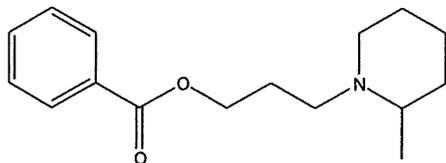
Milieu acide aqueux — 233 nm (coefficient d'extinction molaire = 430), 275 nm

Annexe 2 : Relevé d'analyses

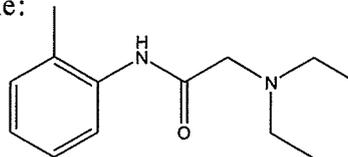
Le pourcentage de cocaïne retrouvé dans les échantillons analysés oscillait entre 0.1% et 100%. Le taux moyen était de 49%, la médiane à 47% et un quart des échantillons contenaient plus de 80% de cocaïne. Les échantillons analysés entre 1999 et 2001 contenaient en moyenne 35% de cocaïne, 42% en 2002 et 67% en 2003. Mis à part les métabolites de la cocaïne (benzoylecgonine, N-desmethyl...), la présence d'anesthésiques locaux comme la lidocaïne (lidocaïne qui colore la phase organique lors de l'étape 3 du test de Scott) a été mise en évidence dans 40% des cas, la phénacétine (antalgique) dans 35% des cas et la caféine dans 8% des échantillons. D'autres échantillons de cocaïne contenaient par ailleurs de la tolpérisone (Mydocalm®), du paracétamol ainsi que de la saccharine.

Annexe 3 : Composés d'intérêt dans le cadre de l'analyse de la cocaïne

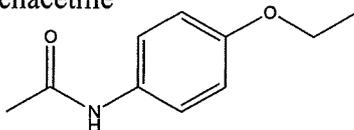
pipérocaïne :



lidocaïne:



phénacétine



Annexe 4 : Le MSTFA

Name: N-Methyl-N-(trimethylsilyl)trifluoroacetamide

Molecular Formula: $\text{CF}_3\text{CON}(\text{CH}_3)\text{Si}(\text{CH}_3)_3$

CAS Number: 24589-78-4

Formula Weight: 199.25

bp: 130-132 °C

Specific gravity: 0.075

nD: 1.38 at 20 °C

Appearance: Clear, colorless to pale yellow liquid

Features/Benefits

- Very volatile of TMS-acetamides
- More volatile than BSA or BSTFA but with similar silylation strength.
- Useful in the analysis of volatile trace materials
- Used in preparation of volatile and thermally stable derivatives for GC and MS analysis.

Common Relative Functional Groups

- Amides, secondary amines, hydroxyls and hydrogen on polar compounds.

Annexe 5 : Table des nombres d'onde des vibrations de valence et de déformation

Liaison	Nature	Nombre d'onde(cm^{-1})	Intensité
O-H alcool libre	Valence	3580-3670	F; large
$\text{C}_{\text{sp}}\text{-H}$	Valence	3300-3310	m
O-H alcool lié	Valence	3200-3400	F
N-H (amines+imines)	Valence	3100-3500	m
N-H (amides)	Valence	3100-3500	F
$\text{C}_{\text{sp}^2}\text{-H}$	Valence	3000-3100	m
$\text{C}_{\text{sp}^2}\text{-H}$ aromatique	Valence	3030-3080	m
$\text{C}_{\text{sp}^3}\text{-H}$	Valence	2800-3000	F
$\text{C}_{\text{sp}^2}\text{-H}$ aldéhyde	Valence	2750-2900	m
O-H acide carboxylique	Valence	2500-3200	F à m; large
$\text{C}=\text{C}$	Valence	2100-2250	f
$\text{C}=\text{N}$	Valence	2120-2160	F ou m
$\text{C}=\text{O}$ anhydride	Valence	1700-1840	F; 2 bandes
$\text{C}=\text{O}$ chlorure d'acyle	Valence	1770-1820	F
$\text{C}=\text{O}$ ester	Valence	1700-1740	F
$\text{C}=\text{O}$ aldéhyde et cétone	Valence	1650-1730 abaissement de 20 à 30 cm^{-1} si conjugaison	F
$\text{C}=\text{O}$ acide	Valence	1680-1710	F
$\text{C}=\text{O}$ amide	Valence	1650-1700	F
$\text{C}=\text{C}$	Valence	1625-1685	m
$\text{C}=\text{C}$ aromatique	Valence	1450-1600	variable; 3 ou 4 bandes
$\text{N}=\text{O}$	Valence	1510-1580 1325-1365	F; 2 bandes
$\text{C}=\text{N}$	Valence	1600-1680	F
N-H amine ou amide	Déformation	1560-1640	F ou m
$\text{C}_{\text{sp}^3}\text{-H}$	Déformation	1415-1470	F
$\text{C}_{\text{sp}^3}\text{-H}(\text{CH}_3)$	Déformation	1365-1385	F; 2 bandes
$\text{P}=\text{O}$	Valence	1250_ 1310	F
$\text{C}-\text{O}$	Valence	1050-1450	F
$\text{C}-\text{N}$	Valence	1020-1220	m
$\text{C}-\text{C}$	Valence	1000-1250	F
$\text{C}-\text{F}$	Valence	1000-1040	F
$\text{C}_{\text{sp}^2}\text{-H}$ de- $\text{CH}=\text{CH}$ - (E) (Z)	Déformation Déformation	950-1000 650-770	F m

Annexe 6 : Tableau périodique des éléments

<http://www.periodni.com/fr/>

PÉRIODE	GROUPE		MASSA ATOMIQUE RELATIVE (1)	GROUPE IUPAC	NOMBRE ATOMIQUE	SYMBOLE	NOM DE L'ÉLÉMENT	ÉTAT PHYSIQUE (25 °C, 101 kPa)
	1	2						
1	1A	2A	1.0079	1A	1	H	Hydrogène	Non-gaz
2	1A	2A	6.941	1A	3	Li	Lithium	Non-gaz
2			9.0122	2A	4	Be	Béryllium	Non-gaz
3			11.2290		11	Na	Sodium	Non-gaz
3			12.24305		12	Mg	Magnésium	Non-gaz
4			19.39098		20	K	Potassium	Non-gaz
4			40.078		21	Ca	Calcium	Non-gaz
4			21.44956	3	21	Sc	Scandium	Non-gaz
4			40.91224	4	22	Ti	Titane	Non-gaz
4			41.92006	5	23	V	Vanadium	Non-gaz
4			42.9596	6	24	Cr	Chrome	Non-gaz
4			43.9596	7	25	Mn	Manganèse	Non-gaz
4			44.9107	8	26	Fe	Fer	Non-gaz
4			45.91259	9	27	Co	Cobalt	Non-gaz
4			46.94176	10	28	Ni	Nickel	Non-gaz
4			47.8671	11	29	Cu	Argent	Non-gaz
4			48.9559	12	30	Zn	Zinc	Non-gaz
4			49.932	13	31	Ga	Aluminium	Non-gaz
4			50.9415	14	32	Ge	Germanium	Non-gaz
4			51.9664	15	33	As	Arsenic	Non-gaz
4			52.94189	16	34	Se	Sélénium	Non-gaz
4			53.94034	17	35	Br	Brome	Non-gaz
4			54.93702	18	36	Kr	Krypton	Non-gaz
5			37.4608		37	Rb	Rubidium	Non-gaz
5			87.62		38	Sr	Strontium	Non-gaz
5			39.96238		39	Y	Yttrium	Non-gaz
5			40.91224		40	Zr	Zirconium	Non-gaz
5			41.92006		41	Nb	Niobium	Non-gaz
5			42.9596		42	Mo	Molybdène	Non-gaz
5			43.9596		43	Tc	Technetium	Non-gaz
5			44.9107		44	Ru	Ruthénium	Non-gaz
5			45.91259		45	Rh	Rhodium	Non-gaz
5			46.94176		46	Pd	Palladium	Non-gaz
5			47.8671		47	Ag	Argent	Non-gaz
5			48.9559		48	Cd	Cadmium	Non-gaz
5			49.932		49	In	Indium	Non-gaz
5			50.9415		50	Sn	Étain	Non-gaz
5			51.9664		51	Sb	Antimoine	Non-gaz
5			52.94189		52	Te	Tellure	Non-gaz
5			53.94034		53	I	Iode	Non-gaz
5			54.93702		54	Xe	Xénon	Non-gaz
6			55.93494		55	Cs	Césium	Non-gaz
6			137.327		56	Ba	Barium	Non-gaz
6			57.92534		57-71	La-Lu	Lanthanides	Non-gaz
6			72.04394		72	Hf	Hafnium	Non-gaz
6			73.04694		73	Ta	Tungstène	Non-gaz
6			74.0766		74	W	Tungstène	Non-gaz
6			75.04686		75	Re	Réhenium	Non-gaz
6			76.0254		76	Os	Osmium	Non-gaz
6			77.07421		77	Ir	Iridium	Non-gaz
6			78.0748		78	Pt	Platine	Non-gaz
6			79.06617		79	Au	Argent	Non-gaz
6			80.0643		80	Hg	Mercure	Non-gaz
6			81.07188		81	Tl	Thallium	Non-gaz
6			82.074		82	Pb	Plomb	Non-gaz
6			83.0698		83	Bi	Bismuth	Non-gaz
6			84.064		84	Po	Polonium	Non-gaz
6			85.06823		85	At	Astato	Non-gaz
6			86.0693		86	Rn	Radon	Non-gaz
7			87.62		87	Fr	Francium	Non-gaz
7			226		88	Ra	Radium	Non-gaz
7			89-103		89-103	Ac-Lr	Actinides	Non-gaz
7			104		104	Rf	Rutherfordium	Non-gaz
7			105		105	Db	Dubnium	Non-gaz
7			106		106	Sg	Séborgium	Non-gaz
7			107		107	Bh	Berkelium	Non-gaz
7			108		108	Hs	Hassium	Non-gaz
7			109		109	Mt	Moscovium	Non-gaz
7			110		110	Ds	Darmstadtium	Non-gaz
7			111		111	Rg	Röntgenium	Non-gaz
7			112		112	Cn	Copernicium	Non-gaz
7			113		113	Nh	Nihonium	Non-gaz
7			114		114	Fl	Flerovium	Non-gaz
7			115		115	Mc	Moscovium	Non-gaz
7			116		116	Lv	Livermorium	Non-gaz
7			117		117	Ts	Tennessine	Non-gaz
7			118		118	Og	Oganesson	Non-gaz

ACTINIDES

89	90	91	92	93	94	95	96	97	98	99	100	101	102	103
Ac	Th	Pa	U	Np	Pu	Am	Cm	Bk	Cf	Es	Fm	Md	No	Lr
ACTINIUM	THORIUM	PROTACTINIUM	URANIUM	NEPTUNIUM	PLUTONIUM	AMÉRICIUM	CURIUM	BERKELIUM	CALIFORNIUM	ENSTENIUM	FERMILIUM	MÉNDELÉVIUM	NOBELIUM	LAVRENCIUM

LANTHANIDES

57	58	59	60	61	62	63	64	65	66	67	68	69	70	71
La	Ce	Pr	Nd	Pm	Sm	Eu	Gd	Tb	Dy	Ho	Er	Tm	Yb	Lu
LANTHANE	CERMIUM	PRASEODYME	NEODYME	PROMETHIUM	SAMARIUM	EUROPIUM	GADOLINIUM	TERBIUM	DYSPROSIUM	HOLMIUM	ERBIUM	THULIUM	YTERBIUM	LUTETIUM

(1) Pure Appl Chem, 51, No. 11, 2139-2156 (2009)

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 naturelle connue, une masse atomique est indiquée.