

# Analyse Multiélémentaire avec un Spectromètre de Masse à Couplage Inductif (ICP-MS) à Cellule de Collision/Réaction (CCR) Agilent 7500ce - Intérêt d'un Gaz de Collision comme L'hélium

Environmental

## Authors

Jérôme Darrouzès<sup>1</sup>, Ed McCurdy<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Agilent Technologies

1, rue Galvani

91745 Massy Cedex, France

e-mail: jerome\_darrouzes@agilent.com

<sup>2</sup>Agilent Technologies Ltd

Lakeside, Stockport

SK8 3GR, UK

e-mail: ed\_mccurdy@agilent.com

## Résumé

**La capacité multiélémentaire et les basses limites de détection des spectromètres de masse à couplage inductif (ICP-MS) sont des atouts majeurs pour l'analyse de traces de métaux en traces. Toutefois, l'existence d'interférences polyatomiques peut gêner ce type de déterminations. L'utilisation d'ICP-MS à cellule de collision/réaction (CCR) permet de supprimer de telles interférences. Des gaz réactifs sont généralement ajoutés mais la mise en oeuvre d'un gaz de collision comme l'hélium offre de nouvelles perspectives pour supprimer simultanément et avec un seul jeu de conditions l'ensemble des interférences dans des matrices complexes et de composition variable. L'optimisation des conditions expérimentales ainsi que leur application à différents échantillons synthétiques et certifiés sont présentés ici pour démontrer les capacités de la méthode.**

## Introduction

Introduit au milieu des années 1980, le spectromètre de masse à couplage inductif (ICP-MS) est un instrument de choix pour l'analyse de traces de métaux. Le plasma d'argon de la source ICP permet de décomposer l'échantillon, préalablement introduit sous forme liquide avant d'être transformé en aérosol, puis d'atomiser et d'ioniser les espèces présentes. Les ions ainsi formés sont alors détectés en fonction de leur rapport masse sur charge, généralement grâce à un analyseur quadripolaire. Rapide, multiélémentaire, combinant à la fois de faibles limites de détection et une large gamme linéaire (jusqu'à 9 ordres de grandeur pour la série Agilent 7500), l'ICP-MS est aussi bien utilisé dans des laboratoires de recherche et développement que dans des laboratoires de routine. Historiquement, son développement a été néanmoins longtemps ralenti par l'existence d'interférences qui peuvent rendre délicate la détermination de certains éléments. Les interférences peuvent être non spectroscopiques ou spectroscopiques (1). Dans le premier cas, les interférences sont liées à la viscosité de la matrice, aux effets d'espace de charge (les ions légers sont plus défocalisés que les ions lourds), aux changements du degré d'ionisation des éléments (suppression de l'ionisation des analytes par des éléments majeurs qui s'ionisent facilement). Les interférences spectroscopiques, quant à elles, se traduisent par un recouvrement de signaux pour des ions de même rapport masse sur charge. Les interférences spectroscopiques sont généralement divisées en quatre catégories: les interférences isobariques (deux éléments distincts ont des isotopes de même masse, par exemple: ex <sup>115</sup>In et



Agilent Technologies

**Tableau 1. Principaux interférents polyatomiques pour des éléments compris entre les masses 50 et 80.**

Analyte	Interférents potentiels
51V	$^{35}\text{Cl}^{16}\text{O}$ , $^{37}\text{Cl}^{14}\text{N}$
52Cr	$^{36}\text{Ar}^{16}\text{O}$ , $^{40}\text{Ar}^{12}\text{C}$ , $^{35}\text{Cl}^{16}\text{OH}$ , $^{37}\text{Cl}^{14}\text{NH}$
53Cr	$^{36}\text{Ar}^{16}\text{OH}$ , $^{40}\text{Ar}^{13}\text{C}$ , $^{37}\text{Cl}^{16}\text{O}$ , $^{35}\text{Cl}^{18}\text{O}$ , $^{40}\text{Ar}^{12}\text{CH}$
55Mn	$^{37}\text{Cl}^{18}\text{O}$
56Fe	$^{40}\text{Ar}^{16}\text{O}$ , $^{40}\text{Ca}^{16}\text{O}$
57Fe	$^{40}\text{Ar}^{16}\text{OH}$ , $^{40}\text{Ca}^{16}\text{OH}$
60Ni	$^{44}\text{Ar}^{16}\text{O}$ , $^{44}\text{Ca}^{16}\text{O}$
63Cu	$^{40}\text{Ar}^{23}\text{Na}$ , $^{12}\text{C}^{16}\text{O}^{35}\text{Cl}$ , $^{12}\text{C}^{14}\text{N}^{37}\text{Cl}$
64Zn	$^{32}\text{S}^{16}\text{O}_2$ , $^{32}\text{S}_2$
65Cu	$^{32}\text{S}^{16}\text{O}_2\text{H}$ , $^{32}\text{S}_2\text{H}$ , $^{40}\text{Ar}^{25}\text{Mg}$
66Zn	$^{34}\text{S}^{16}\text{O}_2$ , $^{32}\text{S}^{34}\text{S}$
68Zn	$^{32}\text{S}^{18}\text{O}_2$ , $^{34}\text{S}_2$
72Ge	$^{40}\text{Ar}^{32}\text{S}$ , $^{35}\text{Cl}^{37}\text{Cl}$
75As	$^{40}\text{Ar}^{35}\text{Cl}$ , $^{40}\text{Ca}^{35}\text{Cl}$
77Se	$^{40}\text{Ar}^{37}\text{Cl}$ , $^{40}\text{Ca}^{37}\text{Cl}$
78Se	$^{40}\text{Ar}^{38}\text{Ar}$

$^{115}\text{Sn}$ ); les interférences dites de double charge (un élément qui possède un potentiel de deuxième ionisation faible peut s'ioniser deux fois, par exemple: la création d'ions  $^{138}\text{Ba}^{2+}$  génère une interférence au rapport masse sur charge 69, isotope du gallium); les interférences dites d'oxydes (un élément qui possède une forte affinité avec l'oxygène s'associe avec ce dernier et crée une interférence, par exemple:  $^{157}\text{Gd}^{16}\text{O}$  interfère la mesure de  $^{173}\text{Yb}$ ); et les interférences polyatomiques. Ces dernières, auxquelles nous nous intéresserons plus particulièrement dans cet article, découlent de la combinaison d'ions provenant du plasma, du système d'introduction de l'échantillon et de la matrice. Ainsi, différentes espèces polyatomiques peuvent être créées et chacune d'elle possède un rapport masse sur charge identique à celui d'un analyte d'intérêt. En conséquence, la mesure de ce dernier se trouve donc gênée. Le Tableau I présente, de façon non exhaustive, les interférents polyatomiques potentiels pour les éléments compris entre les masses 50 et 80, gamme de masse particulièrement sujette à aux interférences polyatomiques.

L'analyse d'échantillons dont la matrice est inconnue est souvent délicate puisque les interférents sont mal définis et peuvent varier d'une matrice à l'autre et d'un échantillon à un autre. Différentes techniques peuvent être utilisées pour s'affranchir de ces interférences: choix d'un isotope moins interféré, équations de correction, désolvatation de l'échantillon, plasma froid, utilisation d'un spectromètre de masse de haute résolution. Pourtant aucune de ces méthodes ne se révèle être universelle (2).

Au début des années 2000, la commercialisation d'ICP-MS utilisant une cellule de collision/réaction (CCR) a permis une nouvelle avancée pour supprimer ces interférences polyatomiques. Ce dispositif utilise un multipôle placé après les cônes et les lentilles ioniques et avant le quadropôle analyseur. Ce système peut être rempli d'un ou plusieurs gaz qui supprime(nt) les interférences polyatomiques (3). De nombreux gaz tels que l'hydrogène (4,5), l'ammoniac (6,7), le méthane (8), l'oxygène (9), le monoxyde de carbone (9), ... ont été testés, parfois mélangés à un gaz inerte comme l'hélium ou l'argon, afin d'améliorer l'efficacité des réactions chimiques (10,11). Ces gaz sont réactifs et suppriment spécifiquement un interférent par réaction chimique. Selon le gaz utilisé, la réaction est dite de transfert de charge (l'interférent transfère sa charge au gaz réactif et n'est plus transféré vers l'analyseur) ou de transfert d'atome (le gaz réagit sur l'analyte et transfère ce dernier à un nouveau rapport masse sur charge, moins interféré) et permet la suppression des interférences (3). Bien qu'efficace, la suppression des interférences à l'aide de gaz réactifs souffre de deux limites principales. La première est liée à la spécificité de la réaction, qui ne permet de supprimer que quelques interférences bien ciblées. Ainsi, les publications décrivant l'usage de gaz réactifs pour supprimer les interférences polyatomiques présentent des travaux se focalisant uniquement sur quelques éléments. La seconde limitation est liée au fait que le gaz réactif, en plus de réagir avec l'interférent peut réagir avec les autres éléments contenus dans l'échantillons, et créer dans la CCR de nouvelles interférences (8, 12). On parle dans ce cas d'interférences du second ordre, créées in situ (3).

Le présent article décrit l'usage d'un gaz totalement inerte, l'hélium pur, qui supprime les interférents, non pas par réaction, mais par collision en se basant sur la différence de taille entre un analyte, ion monatomique, et son interférent, ion polyatomique.

## Matériel et Méthodes

Un ICP-MS Agilent 7500ce (Agilent Technologies, Tokyo, Japon), utilisant un octopole comme cellule de collision/réaction a été utilisé en configuration standard dans cette étude. Le système d'introduction est composé d'un nébuliseur microcentrique Micromist (Glass Expansion, USA) associé à une chambre de nébulisation dite de Scott double passage refroidie à 2°C par effet Peltier. Lorsque la cellule de collision/réaction est activée, un débit de 5,5 mL/min d'He (Premier Quality, 99,9999% He, Air Products, Crewe, UK) est ajouté dans la cellule de collision/réaction. Ce débit est identique quels que soient la matrice et l'analyte. Un seul jeu de conditions est donc utilisé. Les solutions standards ont été préparées à partir de solutions monoélémentaires (Spex Certiprep, Assurance or Qualitas PPT Grade) à 1000 ou 10 mg/L par dilutions successives dans de l'eau ultrapure (pureté Elix, Millipore, St Quentin Fallavier, France). Les acides sont de grade ultrapur ou suprapur (Romil, UK). Quatre échantillons certifiés différents ont été analysés: l'eau NIST 1640 (National Institute for Standards and Technology, USA), deux urines Lyphocheck level 1 et 2 (Biorad, USA) et un échantillon de sang Seronorm (Sero AS, Norvège).

## Résultats et Discussions

### 1. Optimisation des conditions de la cellule de collision/réaction

L'élimination des interférences polyatomiques de l'hélium est basée sur la différence de rayon ionique entre les analytes et les interférents. Comme l'illustre l'exemple du cuivre, présenté sur la Figure 1, les analytes sont monoatomiques et toujours moins volumineux que les interférents qui sont polyatomiques. Ceci est valable quel que soit

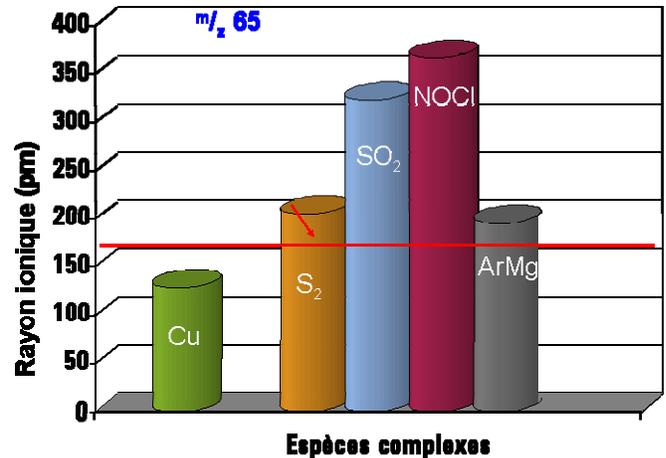


Figure 1. Comparaison du rayon ionique pour le cuivre (<sup>65</sup>Cu) et ses interférents potentiels.

l'analyte et son (ou ses) interférent(s). Les ions, monoatomiques et polyatomiques, arrivent avec la même énergie dans la cellule, grâce au système «Shield Torch», pièce métallique placée au bout de la torche, qui contrôle l'énergie des ions et diminue leur dispersion énergétique. Les ions les plus volumineux subissent plus de collisions et perdent ainsi plus d'énergie que les analytes. L'utilisation d'une barrière énergétique entre l'octopole et le quadrupôle empêche les ions de faible énergie, c'est-à-dire les interférents, de rejoindre le quadrupôle. Seuls les analytes, qui possèdent une énergie suffisante, sont transmis et mesurés (13). Le processus de suppression des interférences est illustré sur la Figure 2. Il ne s'agit pas d'un processus chimique, comme avec les gaz réactifs, mais d'un processus physique. Le faible volume de l'octopole (par rapport à l'hexapole et au quadrupôle) permet d'avoir des collisions directement efficaces.

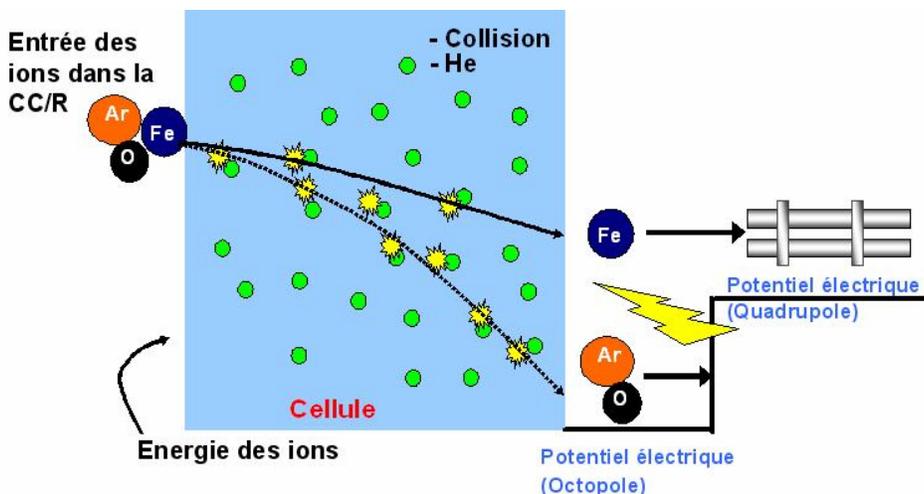


Figure 2. Processus de suppression des interférences à l'aide du mode He à partir de l'exemple du fer (<sup>56</sup>Fe est interféré par <sup>40</sup>Ar<sup>16</sup>O).

La Figure 3 illustre l'atténuation des interférents dans une matrice synthétique contenant 1% Cl et 1% C lors de l'ajout d'hélium avec une discrimination énergétique de 3,5V. Les signaux sont mesurés aux masses  $m/z$  51 et  $m/z$  52. Dans la matrice non dopée, le signal correspond aux signaux des  $^{35}\text{Cl}^{16}\text{O}$  et  $^{40}\text{Ar}^{12}\text{C}$ , et ceux-ci diminuent avec l'ajout d'He du fait de la suppression des interférences. Le signal de cette matrice synthétique dopée avec  $^{51}\text{V}$  et  $^{52}\text{Cr}$  est suivi aux mêmes masses et dans les mêmes conditions. Le signal diminue du fait de la suppression des interférences et des collisions que subissent les analytes. Le débit optimal d'hélium, qui correspond à un signal minimal pour le blanc et à un signal maximal pour le standard, soit encore un BEC (concentration équivalente du blanc) minimal est obtenu pour 5,5 mL/min. Il est identique pour les 2 éléments. Le processus utilisé pour supprimer les interférences est physique. Ainsi les conditions de la CCR sont indépendantes de l'interférent. La comparaison des courbes de calibration obtenues pour l'isotope  $^{56}\text{Fe}$  (interféré majoritairement par  $^{40}\text{Ar}^{16}\text{O}$ ), en mode sans gaz (cellule de collision désactivée) et en mode He (5,5 mL/min He, soit dans les mêmes conditions que celles choisies précédemment), est présenté sur la Figure 4.

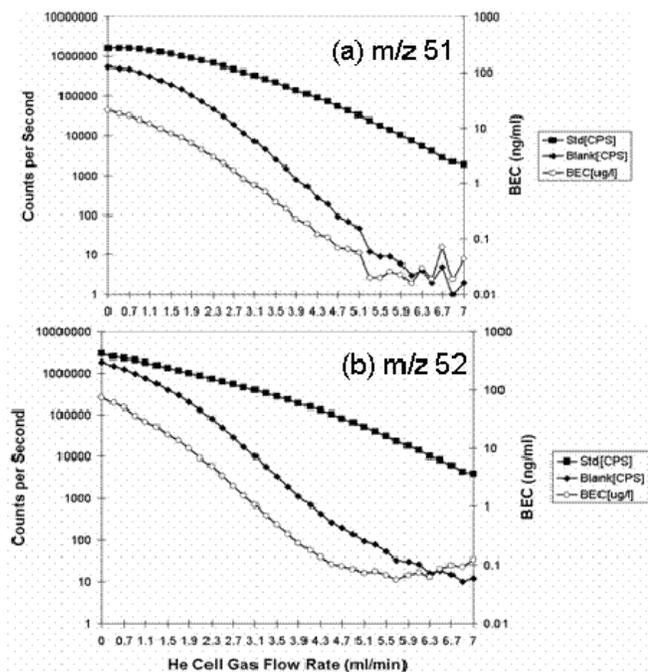
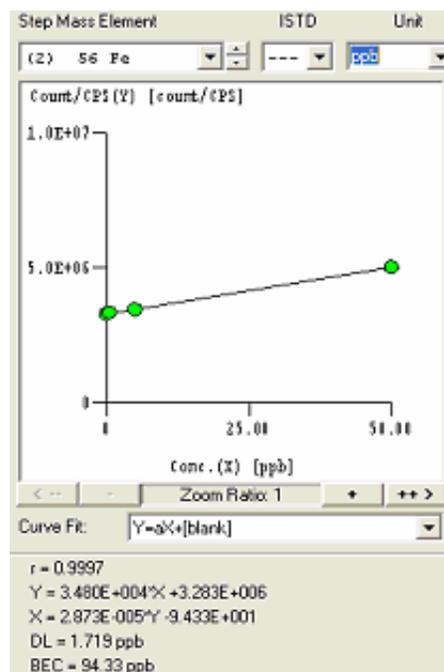


Figure 3. Optimisation du débit d'hélium dans une matrice synthétique contenant 1%Cl et 1%C pour atténuer les interférences polyatomiques (a) sur  $^{51}\text{V}$  (interférent majeur  $^{35}\text{Cl}^{16}\text{O}$ ) et (b)  $^{52}\text{Cr}$  (interférence  $^{40}\text{Ar}^{12}\text{C}$ ) avec une barrière énergétique de 3,5V.

#### (a) Mode Sans Gaz



#### b) Mode He

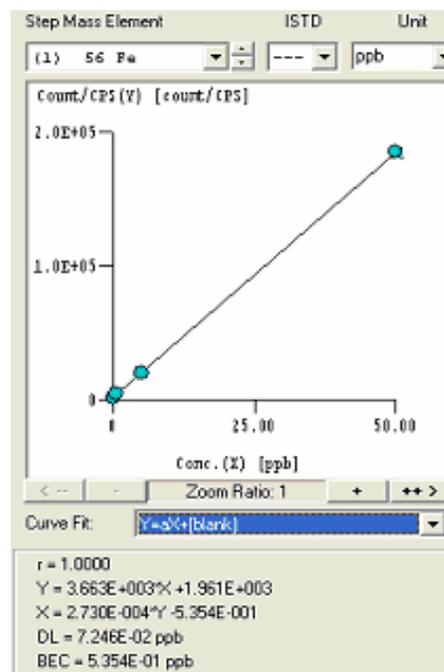


Figure 4. Comparaison des courbes de calibration obtenues pour  $^{56}\text{Fe}$  (interféré par  $^{40}\text{Ar}^{16}\text{O}$ ) (a) sans hélium (mode sans gaz) et (b) avec hélium.

La limite de détection pour le Fer en mode He est de 70 ng/L, ce qui représente une diminution d'un facteur 25 par rapport au mode sans gaz. Pour cet isotope, le BEC est amélioré d'un facteur 200 lorsque le mode He est utilisé.

## 2. Application à l'analyse multiélémentaire d'une solution synthétique

Une solution synthétique contenant 1% HNO<sub>3</sub>, 1% HCl, 1% H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>, 1% butanol, 100ppm Ca et 100ppm Na a été préparée et analysée non dopée et dopée dans les conditions de cellule précédemment définies. Le spectre de masse a été mesuré entre les masses 50 et 80, il est présenté sur la Figure 5.

La Figure 5a, présente le spectre de masse en mode sans gaz (CCR désactivée) de cette matrice non dopée. Les signaux mesurés correspondent uniquement à des interférences. Il est à noter que toutes les masses sont potentiellement interférées. La Figure 5b, présente le même spectre de masse, sur une échelle quatre fois plus grande, après avoir ajouté 5,5mL/min d'He et en utilisant une discrimination énergétique de 3,5 V. Dans ce cas, les signaux des interférents ont totalement disparu. Les signaux observés correspondent à des impuretés de métaux, probablement contenues dans les acides et le butanol. Ceci est confirmé car les rapports isotopiques mesurés correspondent aux rapports isotopiques théoriques pour chacun

des éléments. La figure 5c, présentée avec la même échelle que la Figure 5b, présente la matrice, en mode He, dopée avec 5ppb d'une solution multiélémentaire.

Comme l'ont montré Dexter *et al.* (14), l'hélium doit être exempt d'impuretés réactives (H<sub>2</sub>O) ou d'hydrogène pour que le mode collision fonctionne de manière optimum.

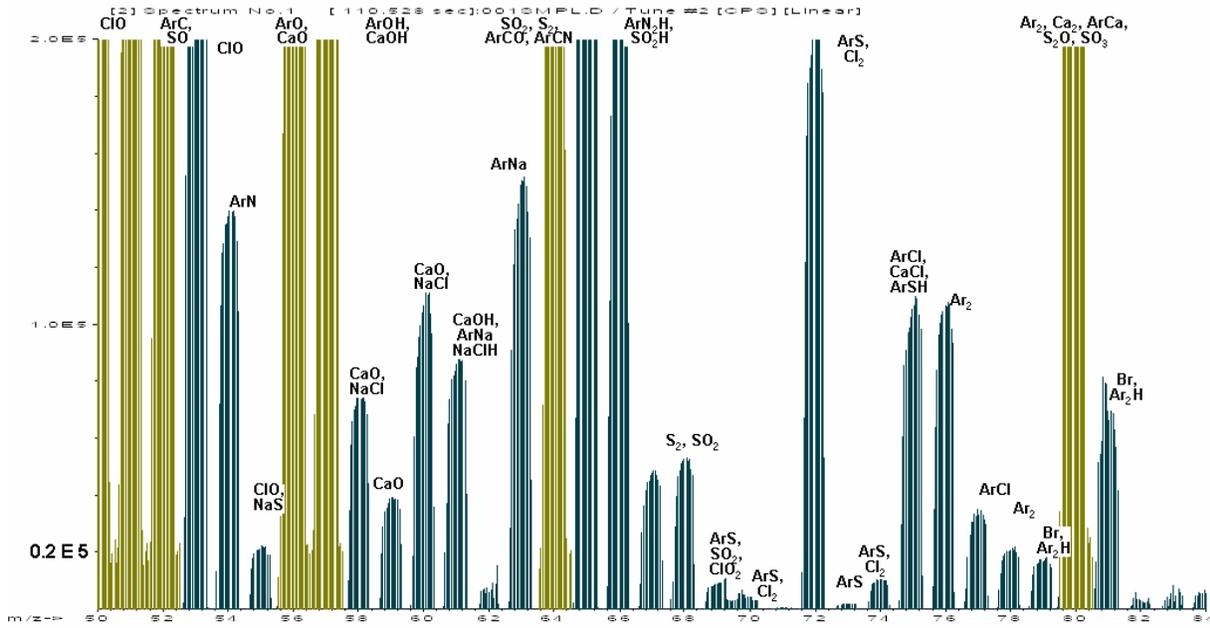
Ainsi, l'utilisation d'hélium dans la cellule de collision/réaction permet de supprimer simultanément l'ensemble des interférences. Un seul jeu de conditions est nécessaire. Ainsi, aucune connaissance de la composition de la matrice n'est requise. Tous les isotopes de tous les éléments sont disponibles. La mise en œuvre est donc simplifiée. En outre, l'hélium est inerte et aucune nouvelle interférence n'est créée.

Ces conditions sont particulièrement intéressantes pour des analyses semi-quantitatives pour lesquelles la quantification est réalisée par rapport à un seul standard, contenant uniquement quelques éléments. Le Tableau 2 présente les résultats obtenus lors d'une analyse semi-quantitative de l'échantillon d'eau de référence NIST 1640. Un seul jeu de conditions – les conditions du mode He - a été utilisé et permet de supprimer toutes les interférences ce qui amène un très bon accord entre valeurs mesurées et certifiées.

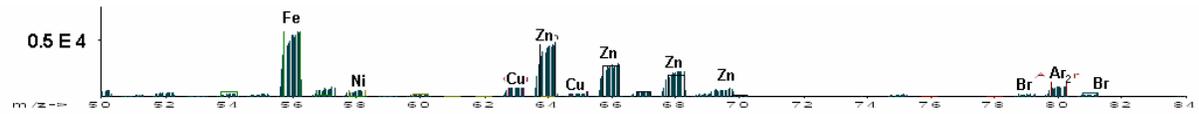
**Tableau 2. Analyse semi-quantitative de l'eau de référence NIST 1640 avec un seul jeu de conditions. Les concentrations certifiées et mesurées sont données en µg/L.**

Li 7	IS Element	50.7	Se 78	21	21.96	Sm 147	0.072	N/A
Be 9	35	34.94	Br 79	<0.1600	N/A	Eu 153	0.0098	N/A
B 10	280	301.1	Rb 85	1.8	2	Gd 157	0.065	N/A
Na 23	30,000	29,350	Sr 88	120	124.2	Tb 159	0.0017	N/A
Mg 24	5,700	5,819	Y 89	0.051	N/A	Dy 163	0.021	N/A
Al 27	54	52	Zr 90	0.091	N/A	Ho 165	0.006	N/A
Si 28	4,800	4,730	Nb 93	0.0035	N/A	Er 166	0.016	N/A
P 31	35	N/A	Mo 95	46	46.75	Tm 169	<3.600E-4	N/A
S 34	110	N/A	Ru 101	<3.400E-3	N/A	Yb 172	0.0082	N/A
K 39	1,000	994	Rh 103	IS Element	N/A	Lu 175	6.50E-04	N/A
Ca 44	9,300	7,045	Pd 105	<2.900E-3	N/A	Hf 178	<1.400E-3	N/A
Sc 45	<5.800E-3	N/A	Ag 107	7.7	7.62	Ta 181	3.10E-04	N/A
Ti 49	0.089	N/A	Cd 114	22	22.79	W 182	0.017	N/A
V 51	13	12.99	In 115	0.0046	N/A	Re 185	0.0067	N/A
Cr 52	37	38.6	Sn 118	2.1	N/A	Os 189	<1.600E-3	N/A
Mn 55	120	121.5	Sb 121	15	13.79	Ir 193	IS Element	N/A
Fe 56	29	34.3	Te 125	<0.1200	N/A	Pt 195	<1.300E-3	N/A
Co 59	19	20.28	I 127	0.17	N/A	Au 197	0.0065	N/A
Ni 60	26	27.4	Cs 133	0.078	N/A	Hg 202	0.012	N/A
Cu 63	87	85.2	Ba 137	140	148	Tl 205	0.035	N/A
Zn 66	55	53.2	La 139	0.42	N/A	Pb 208	27	27.89
Ga 69	32	N/A	Ce 140	0.52	N/A	Bi 209	0.0015	N/A
Ge 72	IS Element	N/A	Pr 141	0.076	N/A	Th 232	0.16	N/A
As 75	24	26.67	Nd 146	0.35	N/A	U 238	0.85	N/A

a)



b)



c)

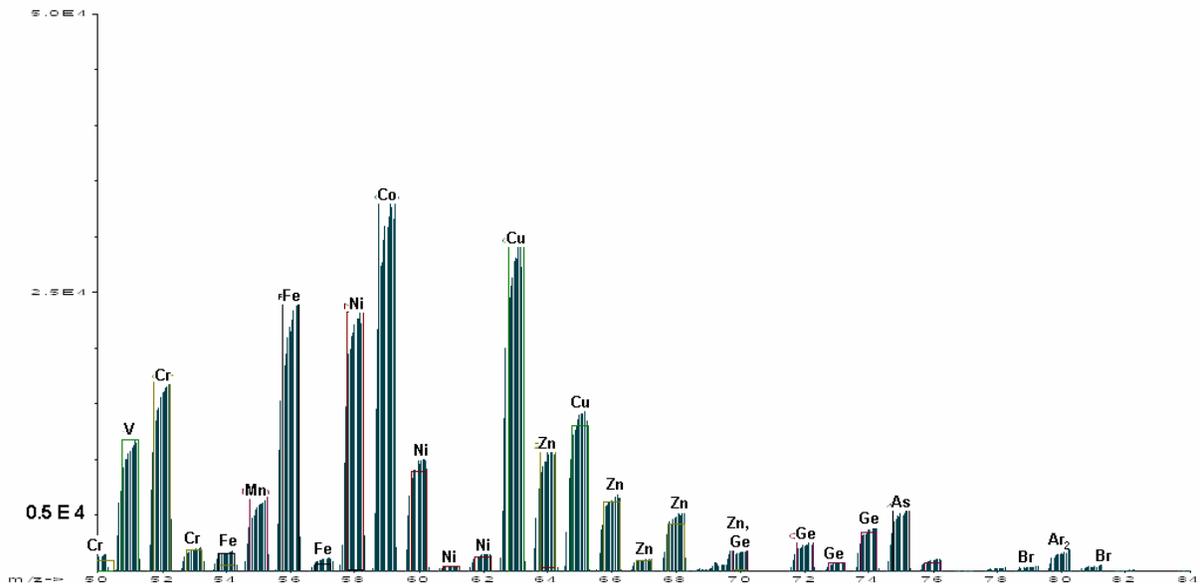


Figure 5. Comparaison du spectre de masse (entre les masses 50 et 84) pour une solution synthétique contenant 1% HNO<sub>3</sub>, 1% HCl, 1% H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>, 1% butanol, 100ppm Ca et 100ppm Na (a) en mode Sans\_Gaz (cellule de collision/réaction non allumée) (b) en mode He et (c) en mode He après dopage avec 5ppb d'une solution multiélémentaire. La différence d'échelle pour les spectres de masse (b) et (c) est d'un facteur 4 avec le spectre de masse (a).

### 3. Exemples d'applications

Quatre échantillons certifiés de natures différentes (voir Tableau 3) ont été analysés dans les conditions précédemment décrites.

Les éléments interférés ont été mesurés en mode hélium, avec les conditions précédemment définies. Les éléments non interférés (Mo, Cd, Sb, Pb) ont été analysés en mode (sans gaz). Le sélénium, interféré par le dimère ArAr, a été mesuré en ajoutant 5mL/min d'hydrogène. Bien qu'il soit possible de mesurer le Se en mode hélium, les limites de détection avec l'hydrogène dans la cellule sont 10 fois plus faibles. L'usage de l'hydrogène, gaz réactif, est uniquement réservé à la suppression d'interférences connues, indépendantes de la matrice et provenant du plasma. Quel que soit le gaz utilisé, aucune équation d'interférence n'a été utilisée. Les différentes analyses utilisent les mêmes conditions pour la cellule de collision/réaction. Au cours d'une même analyse, le système est susceptible de passer automatiquement d'un mode à l'autre analyse en moins de 20 secondes. Le temps

d'analyse est inférieur à 3 minutes.

Les différents échantillons ont été analysés par calibration externe. L'eau a été analysée directement, sans aucune dilution après ajout de 2% HNO<sub>3</sub>. L'urine a été analysée après dilution 1:10 dans 2% HNO<sub>3</sub> et le sang après dilution 1 :20 dans une matrice contenant 2% butanol, 0,05% EDTA, 0,05% Triton et 1% NH<sub>3</sub>. Une seule et même méthode a été utilisée pour les 3 types d'échantillon.

Les différents résultats sont résumés dans le Tableau 3. Valeurs obtenues et valeurs certifiées sont en accord.

**Tableau 3. Concentrations obtenues pour différents échantillons certifiés et comparaison avec les valeurs certifiées.**

	<b>NIST 1640</b>		<b>Lyphocheck, level 1<sup>1</sup></b>		<b>Lyphocheck, level 2<sup>1</sup></b>		<b>Seronorm, level 2<sup>2</sup></b>	
	<i>Eau</i>		<i>Urine</i>		<i>Urine</i>		<i>Sang</i>	
	<i>Certifié/ ppb</i>	<i>Mesuré/ ppb</i>	<i>Certifié/ ppb</i>	<i>Mesuré/ ppb</i>	<i>Certifié/ ppb</i>	<i>Mesuré/ ppb</i>	<i>Certifié/ ppb</i>	<i>Mesuré/ ppb</i>
<b>Al</b>	50.5-53.5	49.2					39-71	41.7
<b>V</b>	12.62-13.36	13.0					3.1-4.2	3.8
<b>Cr</b>	37-40.2	37.5	1.0-1.4	1.7	16.1-24.3	18.6	5.1-6.3	6.1
<b>Mn</b>	120.4-122.6	119.5					10.1-13.3	11.7
<b>Fe</b>	32.7-35.9	35.8					Na	---
<b>Co</b>	19.97-20.59	19.4	5.5-8.3	6.6	14.9-23.3	18.9	4.6-5.8	5.1
<b>Ni</b>	26.6-28.2	26.9					5.1-8.6	5.5
<b>Cu</b>	84-86.4	86.4	21.9-26.1	26.7	40-60	45	na	---
<b>Zn</b>	52.1-54.3	55.4					na	---
<b>As</b>	26.26-27.08	26.9	59-71	67	130-196	162	10.6-11.8	13.4
<b>Se</b>	21.45-22.47	22.0	50.7-61.3	49	150-224	192	114-130	135
<b>Mo</b>	45.49-47.01	45.3					5.3-6.7	6.6
<b>Cd</b>	21.83-23.75	22.6	7.3-9.5	8.6	12.5-18.7	14.9	4.8-6.0	5.7
<b>Sb</b>	13.37-14.21	13.1	5.8-8.0	9	29.9-43.9	34.8	25-28	29
<b>Pb</b>	27.75-28.03	26.7	12.4-14.6	14.3	55-83	68	373-417	371

## Conclusion

L'ajout d'hélium dans la cellule de collision/réaction d'un ICP-MS supprime, à la différence de ce que l'on observe avec l'emploi de gaz réactifs, les interférences à l'aide d'un processus physique. Toutes les interférences sont supprimées simultanément avec un seul jeu de conditions. Tous les isotopes de tous les éléments sont disponibles. En outre, aucune équation d'interférences n'est utilisée et aucune connaissance de la matrice n'est requise a priori. Les temps de développement pour les méthodes sont ainsi limités et la mise en œuvre est ainsi facilitée pour les matrices les plus complexes et dont la composition varie d'un échantillon à un autre.

## Bibliographie

1. Date A.R., Gray A.R. – 1989 – Applications of ICP-MS – Editors Date A.R. and Gray A.L. – Edition Blackie, Glasgow and London, Great Britain.
2. Vanahecke F., ICP-MS. Alternative Means for the Elimination of Interference. *Analytical and Bioanalytical Chemistry*, 2002, **372(1)**, 20-21.
3. Tanner S.D., Baranov V.I., Bandura D.R., Reaction Cells and Collision Cells for ICP-MS: a tutorial review. *Spectrochimica acta part B*, 2002, **57**, 1362-1452.
4. Leonhard P., Pepelnik R., Prange A. *et al.*, Analysis of Diluted Sea-water at the ng/L Level using an ICP-MS with an Octopole Reaction Cell, *Journal of Analytical Atomic Spectrometry*, 2002, **17**, 189-196.
5. Hattendorf B., Gunther D., Schonbachler M., *et al.*, Simultaneous Ultratrace Determination of Zr and Nb in Chromium Matrices with ICP-Dynamic Reaction Cell-MS. *Analytical Chemistry*, 2001, **73**, 5494-5498.
6. Nixon D.E., Neubauer K.R., Eckdahl S.J., *et al.*, Evaluation of a Tunable Bandpass Reaction Cell ICP-MS for the Determination of Chromium and Vanadium in Serum and Urine. *Spectrochimica Acta part B*, 2002, **57**, 951-966.
7. Li P.-C., Jiang S.-J., ETV-ICPMS for the Determination of Cr, Cu, Cd, Hg and Pb in Rice Flour. *Analytica Chimica Acta*, 2003, **495**, 143-150.
8. Sloth J.J., Larsen E.H., The Application of ICP-Dynamic Reaction Cell-Mass Spectrometry for Measurement of Selenium Isotopes, Isotope Ratios and Chromatographic Detection of Selenoamino Acids, *Journal of Analytical Atomic Spectrometry*, 2000, **15**, 669-672.
9. Chery C.C., Gunther D., Cornelis R. *et al.*, Detection of Metals in Proteins by Means of Polyacrilamide Gel Electrophoresis and Laser Ablation ICP-MS: Application to Selenium. *Electrophoresis*, 2003, **24**, 3305-3313.
10. Boulyga S.F., Becker J.S., ICP-MS with Hexapole Collision Cell for Isotope Ratio Measurements of Ca, Fe and Se. *Fresenius Journal of Analytical Chemistry*, 2001, **370**, 618-623.
11. Niemela M., Peramaki P., KOLA H. *et al.*, Determination of Arsenic, Iron and Selenium in Moss Samples using Hexapole Collision Cell ICP-MS. *Analytica Chimica Acta*, 2003, **493**, 3-12.
12. Diaz-Huerta V., Hinojosa-Reyes L., Marchante-Gayon *et al.*, Total Determination and Quantitative Speciation Analysis of Selenium in Yeast and Wheat Flour by Isotope Dilution Analysis ICP-MS. *Journal of Analytical Atomic Spectrometry*, 2003, **18**, 1243-1247.
13. Yamada N., Takahashi J., Sakata K., The Effects of Cell-gas Impurities and Kinetic Energy Discrimination in an Octopole Collision Cell ICP-MS under Non-thermalized Conditions. *Journal of Analytical Atomic Spectrometry*, 2002, **17**, 1213-1222.
14. Dexter M.A., Appelblad P.K., Ingle C.P. *et al.*, The Effect of Adventitious Water in Hexapole Collision Cell ICP-MS. *Journal of Analytical Atomic Spectrometry*, 2002, **17**, 183-188.

Original publication: Darrouzès, J., McCurdy, E., *Spectranalyse*, 2006, **250**, 40-46.

## Pour plus d'informations

Pour plus d'informations sur nos produits et services, consultez notre site Web sur [www.agilent.com/chem](http://www.agilent.com/chem)

[www.agilent.com/chem](http://www.agilent.com/chem)

Agilent ne sera pas tenu responsable pour les erreurs éventuelles contenues dans ce document ou les dégâts fortuits ou consécutifs en rapport avec l'utilisation ou la performance de ce matériel.

Les informations, descriptions et données techniques figurant dans cette brochure sont susceptibles d'être modifiées sans préavis.

© Agilent Technologies, Inc. 2006

Imprimé en France  
21 novembre 2006  
5989-5962FR

