

 <p>DRF-LSCE</p>	<p align="center">CAHIER DES CHARGES VERSION INITIALE</p>	<p>Pages : 1 / 17 Indice : B Date : 22/04/2025</p>
<p>Réf :</p>		
<p>Objet : Acquisition par le LSCE d'un spectromètre de masse à Multi-Collection (ICPMS-MC)</p>		

CAHIER DES CHARGES POUR LA FOURNITURE D'UN SPECTROMETRE DE MASSE A SOURCE PLASMA & MULTI-COLLECTION

DIFFUSION :

CEAPSAC/SMA/BEPII : M. RIOU, E. BOUSCARY, A. BAH
DRF/LSCE : E. DOUVILLE, A. DAPOIGNY

17/04/2025	DAPOIGNY Arnaud, DOUVILLE Éric,  		
DATE	REDACTEURS	VERIFICATEUR	EMETTEUR



DRF-LSCE

CAHIER DES CHARGES

Pages : 2 / 17
Indice : B
Date : 17/04/2025

Objet : **Acquisition par le LSCE d'un spectromètre de masse à Multi-Collection (ICPMS-MC)**

SOMMAIRE

Table des matières

1. OBJET – Intervenant	3
2. Description de l'environnement	5
3. Domaines d'applications	5
4. Description de l'équipement.....	6
4.1 Spécifications techniques obligatoires.....	6
4.1.1 Source	6
4.1.2 Analyseur et détection	6
4.1.3 Détecteur de type multiplicateur d'électrons secondaires.....	8
4.1.4 Système de pompage et de refroidissement	8
4.1.5 Utilisation de l'instrument en mode couplage	8
4.1.6 Passeur d'échantillons.....	8
4.1.7 Système de désolvatation.....	8
4.1.8 Interface.....	8
4.2 Spécifications Optionnelles	9
5. Tests spécifiques sur l'ICPMS-MC	10
6. Informatique	11
7. Engagement environnemental et social	12
8. Documents à fournir.....	13
9. Garantie	14
10. Maintenance (option)	14
11. Partenariat (<i>offre variante</i>)	15
12. Planning	15
13. Livraison, installation et formation sur site	16



DRF-LSCE

CAHIER DES CHARGES

Pages : 3 / 17
Indice : B
Date : 17/04/2025

Objet : **Acquisition par le LSCE d'un spectromètre de masse à Multi-Collection (ICPMS-MC)**

1. OBJET – Intervenant

Le présent cahier des charges concerne la fourniture d'un spectromètre de masse (MS) à source plasma (ICP) doté d'une multi-collection (ICPMS-MC) et pouvant être doté d'une cellule de collision-réaction et d'un filtre en masse de type MS/MS. Cette demande concerne le renouvellement de l'actuel ICPMS-MC installé depuis 2010 au LSCE. L'Équipement de nouvelle génération intégrera la plateforme analytique Géosciences Paris-Saclay PANOPLY de l'Université Paris-Saclay et sera piloté par l'équipe GEOTRAC « Géochronologie - Traceurs - Archéométrie ».

Le spectromètre de masse ici recherché et dédié à l'analyse isotopique de haute précision devra être robuste, fiable, posséder une grande sensibilité et stabilité de signal isotopique, une bonne sensibilité en abondance, offrira différentes possibilités de résolution en masse afin de permettre la mesure rapide, précise et relative de l'abondance isotopique de nombreux éléments stables ou radiogéniques du tableau périodique. Cela concerne principalement les éléments légers (ex : Li, B), intermédiaires (ex : Mg, Ca, Sr, Mg, Si) ou plus lourds allant des isotopes du Sr, Nd jusqu'à ceux du Pb, Th, Pa, U. Ces dernières années, le LSCE a développé une grande expertise concernant ces systèmes isotopiques pour des travaux de datation (*i.e.* U-Th) et d'analyses géochimiques des archives naturelles dans le cadre d'applications dans le domaine des Sciences du Climat et de l'Environnement.

L'Équipement recherché permettra des séquences analytiques en automatique pour acquérir un grand nombre de données isotopiques de haute qualité afin de produire des séries temporelles essentielles pour les études environnementales et/ou paléoclimatiques menées au LSCE ou en lien avec ses partenaires. L'Équipement permettra enfin de passer facilement d'un type d'expérimentation de mesure isotopique à un autre en fonction du système isotopique étudié et cela par des réglages simples et un logiciel d'utilisation conviviale. La trajectoire des sociétés et leurs pratiques, en lien avec les changements globaux ou plus régionaux, pourront être également étudiées (migration, cultures, élevages, utilisation des ressources, etc.).

De même, dans le cadre d'une inflexion de ses activités de recherche sur la Géochimie des Impacts sur l'Anthropocène, et suite au projet GEODIA financé par le région Île de France, le LSCE et ses partenaires (GEOPS, LOCEAN, ECOSYS, IRSN et le CEARC) souhaitent améliorer la précision de mesure de certains systèmes isotopiques déjà étudiés et réduire la taille des échantillons analysés. Ces laboratoires souhaitent également développer à court & moyen terme le développement de nouveaux traceurs isotopiques rendus mesurables avec précision, tout en limitant les chimies amonts, par l'utilisation de modules ici demandés en option, notamment une cellule de collision-réaction, un filtre en masse de type MS/MS ou *via* toute nouvelle innovation qui pourra être proposée.

Une attention toute particulière sera portée sur l'apport du nouvel Équipement en terme de précision concernant l'analyse isotopique de l'U, du Th et du Pa pour la datation U-Th-Pa des archives carbonatées (coraux, spéléothèmes).

De même, pour des études scientifiques sur le cycle du carbone, des reconstitutions de l'échange en CO₂ entre l'Océan et l'Atmosphère pour les cycles climatiques passés seront



DRF-LSCE

CAHIER DES CHARGES

Pages : 4 / 17
Indice : B
Date : 17/04/2025

Objet : **Acquisition par le LSCE d'un spectromètre de masse à Multi-Collection (ICPMS-MC)**

réalisées à partir de la mesure précise des isotopes du bore ($\delta^{11}\text{B}$) dans des carbonates biogéniques marins de petite taille (foraminifères) pauvres en bore (solutions analysables : $[\text{B}] < 10$ ppb pour un volume disponible de l'ordre de 200-500 μL). Egalement, des études d'impacts sur les organismes marins bio-calcifiants (coraux) de l'acidification de l'Océan due à l'ère industrielle ou d'autres changements globaux seront également réalisés *via* la mesure précise de valeurs $\delta^{11}\text{B}$.

D'autres applications sur des échantillons de carbonates et d'eaux, sur des archives naturelles ou des restes archéologiques sont envisagées impliquant l'analyse isotopique, par exemple, des alcalino-terreux (Ca, Sr, Mg) ou du Si afin de caractériser le cycle biogéochimique de ces éléments en lien avec le cycle du carbone et le Climat ou mieux contraindre certains paramètres environnementaux. L'analyse isotopique de certains éléments clés comme Li, Sr, Nd, Pb ou certains métaux (Cr, etc.) pourront être mises en œuvre pour tracer des sources ou des changements environnementaux naturels ou anthropiques.

Enfin, l'Équipement devra être adapté et conçu pour le couplage avec un système d'ablation laser (logiciel, gestion des signaux transitoires) pour des études isotopiques des microstructures ou de signaux abrupts enregistrés dans les archives naturelles. Le système d'ablation laser présent depuis 2011 au LSCE est un laser nanoseconde ESI NWR-193 nm.

L'ICPMS-MC recherché sera capable :

- D'effectuer des mesures de rapports isotopiques les plus précises possibles (incertitudes de l'ordre de 0,1 ‰ (pour mille) ou inférieures) sur l'ensemble des éléments d'intérêt pour le laboratoire. Le niveau de précision pourra être de l'ordre de 10 ppm pour certains systèmes isotopiques comme celui du Sr ($^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$) ;
- De fonctionner de façon automatique. L'automatisation totale de l'appareil est demandée afin de faciliter un travail en continu sur des séquences de plusieurs jours *via* un passeur automatique couplé et piloté par l'ordinateur de pilotage de l'Équipement ;
- De fonctionner en mode couplage avec des systèmes de dé-solvatation ou d'ablation laser déjà présent au LSCE tout en étant compatible avec le logiciel de pilotage de l'Équipement ;
- En option, de proposer des modules installés au sein de l'Équipement pour éliminer des interférences isobariques *via*, par exemple, une cellule de collision-réaction C/R permettant l'injection de gaz de type O_2 , He, NH_3 , etc. pour de futurs développements de traceurs géochimiques dans le cadre de nouvelles applications ;
- De proposer également en option tout système permettant de s'affranchir des interférences ou d'améliorer la précision des systèmes isotopiques pour les Sciences du Climat et de l'Environnement, tel un filtre en masse de type MS/MS ;
- Il sera également proposé en option une offre de maintenance complète pendant les 3 années qui suivent la période de garantie.

 DRF-LSCE	<p style="text-align: center;">CAHIER DES CHARGES</p>	Pages : 5 / 17 Indice : B Date : 17/04/2025
Objet : Acquisition par le LSCE d'un spectromètre de masse à Multi-Collection (ICPMS-MC)		

Intervenants :

Maître d'ouvrage : CEA-DRF/LSCE

Prescripteur : Eric DOUVILLE

Tel : 01 69 08 22 57 ; Email : eric.douville@lsce.ipsl.fr

Responsable technique de l'affaire : Arnaud DAPOIGNY

Tel : 01 69 08 04 70 ; Email : arnaud.dapoigny@lsce.ipsl.fr

2. Description de l'environnement

Le Laboratoire des Sciences du Climat et de l'Environnement - LSCE, UNR 8212 CNRS-CEA-UVSQ (installation n°210 du CEA Saclay) est implantée dans le bâtiment 714 sur le site de l'Orme des Merisiers (Route de St-Aubin, F-91191 Gif sur Yvette cedex). L'instrument sera installé au rez-de-chaussée du bâtiment 714 en pièce 51A.

Le plan d'occupation au sol de l'équipement ainsi qu'un guide de pré-installation seront fournis aux responsables techniques du LSCE après signature du marché. L'équipement sera installé dans une pièce du laboratoire dont la surface au sol est de 6.3m x 4.2m. Ce local est déjà équipé d'un système d'extraction d'air (airs viciés ou permettant la régulation en température de l'instrument) permettant donc le raccordement des systèmes d'extraction de l'instrument et si nécessaire de ses périphériques. Le local est également équipé d'arrivées de différents gaz (Argon, Azote, hélium et air comprimé). Les refroidisseurs ou « chillers », sauf contrainte indiquée, seront implantés dans un local dédié et situé à l'étage juste au-dessous de la pièce 51A (distance de raccordement des tuyaux < 8 m). Un plan de la pièce peut être fourni si nécessaire sur demande, sachant que les locaux cités sont déjà configurés actuellement pour un MC-ICPMS.

Les intervenants sur site pour l'installation de l'équipement, le service après-vente et la maintenance doivent avoir une aptitude médicale. Ils doivent également posséder une habilitation électrique. De même leurs interventions sur site devront respecter les règles en vigueur pour entrer sur le site du CEA de l'Orme des merisiers (mails d'invitation, rendez-vous amonts, HORUS, etc.)

3. Domaines d'applications

La nouvelle instrumentation permettra de mener une recherche compétitive et innovante, l'analyse d'archives naturelles ou anthropisées et le développement de nouveaux traceurs géochimiques grâce aux progrès techniques et scientifiques réalisés sur la mesure isotopique des éléments radioactifs, radiogéniques et stables, à la fois chronomètres et marqueurs des interactions entre les différentes composantes du Système Terre. Les principaux objectifs scientifiques seront ici dans un premier temps de poursuivre, de renforcer et d'élargir les activités de recherche du LSCE et de ses partenaires :



DRF-LSCE

**CAHIER
DES CHARGES**Pages : 6 / 17
Indice : B
Date : 17/04/2025Objet : **Acquisition par le LSCE d'un spectromètre de masse à Multi-Collection (ICPMS-MC)**

- En **Géochronologie** ^{238}U , ^{235}U , ^{234}U , ^{230}Th , ^{231}Pa , ^{226}Ra , ^{232}Th : en contribuant à la précision et à l'extension d'un cadre chronologique *absolu* commun aux archives terrestres et marines du Quaternaire, en caractérisant plus précisément les événements abrupts du climat, les variations du niveau marin, les changements environnementaux, l'évolution des récifs coralliens et plus généralement des bio-calcifiants, ou encore la dynamique des fluides dans les formations géologiques ;
- **Les cycles biogéochimiques de l'Océan & les Sciences du Climat** $^{230}\text{Th}/\text{U}$, ϵNd , $\delta^{44}\text{Ca}$, isotopes Mg-Si, $\delta^{11}\text{B}$: par des reconstitutions pour le passé de la circulation océanique, du cycle du carbone ou des changements globaux & locaux et leurs effets (ex : acidification des océans & impact sur les bio-carbonates) ;
- Sur les **Surfaces Continentales** $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$, $^{143}\text{Nd}/^{144}\text{Nd}$, $^{234}\text{U}/^{238}\text{U}$, Isotopes du Pb: en évaluant et en comparant l'impact de la variabilité climatique sur l'érosion des régions tempérées et de mousson, en analysant les processus de minéralisation des eaux des aquifères, ou encore en étudiant les trajectoires des sociétés et le leurs impacts sur les écosystèmes le long d'un continuum « hot-spot urbain, bassins versants et fleuves jusqu'à l'interface terre-mer », notamment en caractérisant et traçant l'origine des pollutions émises dans l'environnement.

4. Description de l'équipement

4.1 Spécifications techniques obligatoires

L'Équipement ICPMS-MC devra répondre aux spécifications techniques demandées. Les valeurs liées à ces spécifications seront fournies par le Soumissionnaire dans son offre. Par ailleurs, ces spécifications devront être à nouveau déterminées par le Titulaire sur l'Équipement en usine, puis après son installation sur le site du CEA. Pendant les phases de test en usine du nouvel Équipement, un représentant technique du LSCE pourra être invité sur plusieurs jours/semaines pour y assister afin de se familiariser avec l'instrument. Un rapport sera fourni à chaque fois au CEA.

4.1.1 Source

La source ICP devra être réglable selon les trois axes par rapport aux cônes et sa position ne devra pas varier lors des montages et démontages. Le Soumissionnaire indiquera les accessoires (type de nébuliseur, type de chambre de nébulisation, système de désolvatation...) ainsi que les paramètres et conditions d'analyse (débits, paramètres de mesure...) utilisés pour répondre aux spécifications. Il sera indiqué la plage de puissance d'utilisation en Watt du générateur haute fréquence.

4.1.2 Analyseur et détection

Les spécifications techniques ci-dessous devront être fournies pour évaluation des performances :

- **Gamme de masse** : la gamme de masse (m/z) sera au moins de 3 à 280 m/z . Le Soumissionnaire indiquera la gamme accessible si elle est supérieure ;



DRF-LSCE

CAHIER DES CHARGES

Pages : 7 / 17
Indice : B
Date : 17/04/2025

Objet : **Acquisition par le LSCE d'un spectromètre de masse à Multi-Collection (ICPMS-MC)**

- **Séparation des ions** : le spectromètre sera doté d'une double focalisation impliquant un filtre électrostatique pour le filtrage en énergie et un filtre électromagnétique pour le filtrage en masse ;
- **Sensibilité** : la sensibilité maximale de l'instrument sur l'uranium devra être fournie en V/ppb tout en précisant la configuration utilisée (système d'introduction, cônes etc.) ;
- **Plat de pic** : le plat de pic devra être meilleur que $\pm 1\%$ sur 200 ppm de masse quand il sera mesuré sur n'importe quel collecteur de Faraday le long du plan focal ;
- **Résolution** : elle devra être supérieure ou égale à 300 pour chaque collecteur en toute position du plan focal. L'instrument devra être capable de travailler à basse, moyenne et haute résolution tout en gardant de bons plats de pics. Les performances en termes de résolution de l'instrument devront être précisément détaillées, ainsi que l'influence de la résolution sur la sensibilité et les plats de pics. La haute résolution devra être supérieure ou égale à 6000. La résolution sera calculée à partir des flancs de pic selon la formule :
 - $R_{\text{edge}}(5\%, 95\%) = M / [M(5\%) - M(95\%)]$ avec
 - M(5%) : Masse à 5% de la hauteur de pic
 - M(95%) : Masse à 95% de la hauteur de pic
 - M : Masse du pic
- **Transmission** : elle devra être donnée pour chaque mode de résolution (basse, moyenne et haute) ;
- **Dispersion en masse** : elle devra être strictement supérieure à 20% ;
- **Stabilité du bord du pic** : elle devra être meilleure que ± 50 ppm en masse sur 30 minutes de mesure du pic de ^{238}U ;
- **Biais de masse** : le biais de masse sera stable à mieux que 100 ppm relatif (1 RSD) sur une période de 1 heure ;
- **Sensibilité en abondance** : la sensibilité en abondance à une résolution de 400 sera meilleure que 5 ppm à la masse 237 par rapport au pic ^{238}U . Elle devra être meilleure que 500 ppb avec la présence d'un filtre électrostatique optionnel ;
- **Bloc Multi-Collection et collecteurs associés** : l'instrument devra disposer d'un bloc Multi-Collecteur permettant un alignement précis des pics. Ce bloc sera décrit précisément et devra être constitué au minimum de 9 cages de Faraday et d'un compteur d'ions. L'alignement reproductible et précis des pics en multi-collection devra être assuré et quelques exemples graphiques devront être présentés. Le nombre maximal de cages de Faraday, de compteurs d'ions, Daly ou SEM devra être précisé. Il devra être aussi précisé la position des cages en fonction des configurations données ultérieurement ;
- **Bruit de fond** : le bruit des lignes de base des amplificateurs sera inférieur à 2×10^{-16} A pour une intégration de 5 secondes en utilisant une résistance de $10^{11}\Omega$ et les valeurs seront notifiées ;
- **Résistances/amplificateurs cages de Faraday** : le Soumissionnaire devra indiquer les types de résistances interchangeables disponibles sur l'instrument (exemple $10^{10}\Omega$, $10^{11}\Omega$, $10^{12}\Omega$, $10^{13}\Omega$...), ainsi que les méthodes permettant le changement des résistances et le temps nécessaire au changement. Un comparatif des performances des différents amplificateurs pourra être fourni comme aide à la décision ainsi que les options permettant d'améliorer encore les performances (e.g. systèmes Peltier à la place du chauffage des boîtes à ampli).

 DRF-LSCE	CAHIER DES CHARGES	Pages : 8 / 17 Indice : B Date : 17/04/2025
Objet : Acquisition par le LSCE d'un spectromètre de masse à Multi-Collection (ICPMS-MC)		

4.1.3 Détecteur de type multiplicateur d'électrons secondaires

Le Soumissionnaire proposera au moins un détecteur de type multiplicateur d'électron (SEM) ou électrode de Daly (Daly) pour lequel les performances suivantes seront fournies :

- Performances en terme de plat de pics sur 100 ppm de masse.
- Bruit de fond à une efficacité d'au moins 90%.
- Stabilité du gain Faraday/SEM ou Daly sur une heure de mesure.
- Performances en terme de linéarité du compteur d'ions (corrigées du temps mort).
- Description des dispositifs de filtre électrostatique associé.

4.1.4 Système de pompage et de refroidissement

Le Soumissionnaire devra préciser les systèmes de pompage et les niveaux de vides obtenus dans les différentes parties de l'instrument (source, secteur électrostatique, analyseur) et les refroidissements mis en place ainsi que les sécurités associées.

4.1.5 Utilisation de l'instrument en mode couplage

L'instrument devra pouvoir fonctionner en mode couplage avec un système laser « nanosecondes » ESI NWR 193. Une description détaillée de la gestion des signaux transitoires par le logiciel de l'instrument devra être fournie, incluant notamment :

- Le temps d'intégration minimal sur l'appareil ;
- L'intégration ou pas des corrections de temps des réponses individuelles des détecteurs dans le logiciel ;
- L'intégration ou pas des méthodes de traitement des signaux transitoires (régression linéaire, intégration des aires de pics...) dans le logiciel.

4.1.6 Passeur d'échantillons

L'instrument devra être en capacité de contrôler une large gamme de passeurs d'échantillons d'au moins quarante positions avec une contenance de l'ordre de 1 à 50 ml par position. (e.g. gamme DX et μ DX de chez ESI et ASX de Cetac)

4.1.7 Système de désolvatation

Le Soumissionnaire confirmera la compatibilité des systèmes de désolvatation avec l'instrument et éventuellement le logiciel. (e.g. Apex Omega de chez ESI ou Aridus 3 de chez Cetac).

4.1.8 Interface

Il sera proposé 4 jeux de cônes (sample + skimmer) plus 1 jeu spécial Bore si différent, ainsi que l'outil permettant leur démontage.



DRF-LSCE

**CAHIER
DES CHARGES**Pages : 9 / 17
Indice : B
Date : 17/04/2025Objet : **Acquisition par le LSCE d'un spectromètre de masse à Multi-Collection (ICPMS-MC)****4.1.9. Configurations standards**

L'affectation des cages ci-dessous est purement indicative et pourra être adaptée. Pour les positions IC il sera installé des SEM. Il est demandé un système de filtre pour diminuer la sensibilité en abondance sur la cage centrale. Si disponible, un détecteur Daly sera positionné pour la mesure du ^{230}Th à la place du SEM.

	L5	L4	L3	L2	L1	C	H1	H2	H3	H4	H5
U/Th new setup	229Th IC - 10^{11} - 10^{13}	230Th IC - 10^{13}	231Pa 10^{11} - 10^{12}	232Th IC - 10^{11} - 10^{12}	233U 10^{11} - 10^{12}	234U IC - 10^{13}	235U 10^{11}	236U 10^{11} - 10^{12}	238U 10^{11}		
Sr	68Zn ? 10^{11}	82Kr 10^{11}	83Kr 10^{11}	84Sr 10^{11}	85Rb 10^{11}	86Sr 10^{11}	87Sr 10^{11}	88Sr 10^{11}			
Nd		142Nd 10^{11}	143Nd 10^{11}	144Nd 10^{11}	145Nd 10^{11}	146Nd 10^{11}	147Sm 10^{11}	148Nd 10^{11}	149Sm 10^{11}	150Nd 10^{11}	
Si new setup		24Mg 10^{11}	25Mg 10^{11}	26Mg 10^{11}	28Si 10^{11}	29Si 10^{11}	30Si 10^{11}				
Pb		202Hg 10^{11}	203Tl 10^{11}	204Pb 10^{11}	205Tl 10^{11}	206Pb 10^{11}	207Pb 10^{11}	208Pb 10^{11}			
B		10B 10^{11} - 10^{13}						11B 10^{11} - 10^{13}			
Cr		49Ti 10^{11}		50Cr 10^{11}	51V 10^{11}	52Cr 10^{11}	53Cr 10^{11}	54Cr 10^{11}		56Fe 10^{11}	
U				232Th 10^{11}	233U 10^{11} - 10^{13}	234U 10^{13}	235U 10^{11}	236U 10^{11}	238U 10^{11}		

4.2 Spécifications Optionnelles

Le Soumissionnaire est invité à présenter, détailler et chiffrer en option toutes les dernières innovations aujourd'hui existantes permettant de limiter ou éliminer drastiquement les interférences isobariques au sein de l'ICPMS-MC. Cela concerne en particulier :

- Option n°1 : un module doté d'une cellule de collision-réaction qui pourra être fourni à l'installation en standard ou être installé ultérieurement. Les gaz de réaction (O_2 , He, NH_3 , etc) pouvant être utilisés dans la cellule C/R seront précisés. Les effets de la présence de ce module sur l'utilisation, le fonctionnement ou la configuration de l'ICPMS-MC pour les analyses de routine sans gaz seront détaillés. Des exemples d'application montrant le bénéfice de ce module seront présentés.
- Option n°2 : un filtre MS/MS, le Soumissionnaire décrira ses spécifications, sa configuration, sa facilité d'utilisation son mode d'utilisation et des notes techniques d'application.
- Option n°3 : l'intégration d'une cellule de collision réaction et un filtre MS/MS.

Pour chacune des options facultatives 1 à 3, il sera précisé les avantages et/ou les contraintes éventuelles de l'ajout de ces deux modules de manière générale sur les performances du MC-ICPMS et sa flexibilité d'utilisation. Les coûts d'acquisition et d'installation de ces modules *i-* dès la livraison en standard de l'Équipement ou *ii-* de manière différée d'ici un à deux ans seront précisés dans l'offre financière des soumissionnaires.

 DRF-LSCE	CAHIER DES CHARGES	Pages : 10 / 17 Indice : B Date : 17/04/2025
Objet : Acquisition par le LSCE d'un spectromètre de masse à Multi-Collection (ICPMS-MC)		

5. Tests spécifiques sur l'ICPMS-MC

Nous souhaitons que les Soumissionnaires réalisent les tests décrits ci-dessous, lesquels pourront avoir été réalisés avant ou pendant l'appel d'offres sur un type d'équipement identique à celui proposé dans l'offre du Soumissionnaire. Les résultats de ces tests devront être fournis dans l'offre sous forme d'un rapport technique détaillé lors de la phase de consultation.

Ces mêmes tests seront réalisés à nouveau par le Titulaire lors de la phase de réception sur site en présence du personnel CEA, avec la fourniture d'un second rapport technique.

Chaque rapport technique devra ainsi indiquer les performances spécifiques de l'instrument pour des **mesures isotopiques de l'U, Nd, Si et Li**. Devront figurer les sensibilités maximales obtenues pour chacun de ces éléments ainsi que le système d'introduction et les spécificités techniques s'il y en a pour obtenir ces sensibilités. De plus devront figurer les précisions internes, externes et justesses obtenues sur l'ensemble des rapports isotopiques de ces 4 éléments.

Chaque rapport technique contiendra également les résultats des tests décrits ci-dessous (les échantillons peuvent si nécessaire être fournis par le CEA sur demande).

- **Test 1 : Isotopie des éléments lourds U et Th avec un système de dé-solvatation proposé par le Soumissionnaire, lequel sera précisé :**

Pour la datation précise et en routine des archives naturelles par la technique U-Th, la précision analytique recherchée est :

- une reproductibilité externe en $\delta^{234}\text{U}$ meilleure que $\pm 2 \text{ ‰}$ (2σ) pour une solution standard Harwell uraninite (HU-1) ou solution standard équivalente avec mesure des isotopes ^{234}U , ^{235}U et ^{238}U sur compteur d'ions et cages de Faraday (**10^{11} Ohm**). La configuration requise de la multi-collection du MC-ICPMS sera alors détaillée ainsi que l'utilisation de solution « spike » contenant les isotopes ^{233}U , ^{236}U et ^{229}Th .

$$(i) \quad \delta^{234}\text{U} = \left(\frac{^{234}\text{U}/^{238}\text{U}_{\text{sample}}}{^{234}\text{U}/^{238}\text{U}_{\text{sec.eq.}}} - 1 \right) \times 10^3$$

- une reproductibilité externe à $\pm 2 \text{ ‰}$ (2σ) pour le rapport isotopique $^{230}\text{Th} / ^{238}\text{U}$ sur solution standard Harwell uraninite (HU-1) avec mesure des isotopes ^{229}Th et ^{230}Th est également recherchée.

Avec :

- Détermination de la sensibilité en V/ppb ;
- Evaluation de la stabilité du gain SEM ou DALY par rapport à Faraday au cours du temps ;
- Détermination du taux de production d'hydrures ;
- Détermination de la sensibilité en abondance aux masses $m/z=237$ et $m/z=236$.

 DRF-LSCE	<p style="text-align: center;">CAHIER DES CHARGES</p>	Pages : 11 / 17 Indice : B Date : 17/04/2025
Objet : Acquisition par le LSCE d'un spectromètre de masse à Multi-Collection (ICPMS-MC)		

► **Test 2 : la mesure des isotopes des éléments légers B et Li**

Dans la cadre des traceurs isotopiques développés au LSCE ($\delta^{11}\text{B}$ pour reconstruire les paléo-pHs de l'Océan et le rapport isotopique $^7\text{Li}/^6\text{Li}$ comme traceur de sources), les précisions analytiques suivantes sont recherchées :

- pour le Bore, une reproductibilité « interne » de l'ordre de 0,2 ‰ (2σ) est recherchée pour des solution à 10 ppb de bore impliquant 30 comptages de 4 secondes et une sensibilité sur l'isotope ^{11}B à environ 15 mV/ppb. Les tests seront réalisés à partir d'un standard de référence NBS 951 à 0 ‰ en convention $\delta^{11}\text{B}$ (‰) sans chimie préalable. Les stabilités court (10 minutes) et long terme (1 heure) seront précisées. Il pourra également être démontré par le Soumissionnaire, en utilisant la méthode dite de « bracketing », d'obtenir une reproductibilité externe de l'ordre 0,25 ‰ (2σ) à partir d'une solution d'eau de mer (39,6 ‰), de carbonates (~ 25 ‰) ou de toutes autres solutions en leur possession de composition isotopique similaires. Pour chaque solution analysée, il sera indiqué le biais de masse obtenu sur le rapport $^{11}\text{B}/^{10}\text{B}$ ainsi que l'incertitude associée à chaque comptage

- pour le Lithium, une reproductibilité « interne » de 0,2 ‰ à 2σ (voire inférieure sur une solution enrichie en Li à 100 ppb sans désolvateur. La méthode dite de « bracketing » pourra être utilisée et le biais de masse observé sur le rapport $^7\text{Li}/^6\text{Li}$ ainsi que la stabilité court (10 minutes) et long terme (1 heure) seront précisés. La convention « delta-values » sera utilisée pour présenter les résultats et la reproductibilité sera donnée au minimum sur 5 valeurs (1RSD).

Pour tous les résultats présentés suite à ces tests, l'utilisation de cônes spécifiques ou tout autre modules sera précisée.

► **Test 3 : Mesures Si/Mg avec système de dé-solvatation sans azote :**

A l'aide d'une solution de NBS28 (ou équivalente) dopé en Mg, il est demandé un test de reproductibilité sur une dizaine d'analyses de 60 comptages de 4 secondes.

- La concentration sera comprise entre 150 ppb et 1 ppm en fonction de la sensibilité et sera précisée ;
- La résolution utilisée sera précisée ;
- Le décalage du centrage par rapport à la mi-hauteur du pic à gauche sera précisé ;
- Un scan des pics avec les interférences sera donné pour les 6 isotopes Si et Mg
- L'intensité de l'interférence $^{14}\text{N}^{16}\text{O}$ sur ^{30}Si sera précisée ;
- Les ratios $\delta^{29}\text{Si}$ et $\delta^{30}\text{Si}$ corrigés du biais de masse à l'aide des ratios $^{24}\text{Mg}/^{25}\text{Mg}$ et $^{24}\text{Mg}/^{26}\text{Mg}$ devront avoir une erreur standard inférieure ou égale à 50ppm à 1SE.

6. Informatique



DRF-LSCE

CAHIER DES CHARGES

Pages : 12 / 17
Indice : B
Date : 17/04/2025

Objet : **Acquisition par le LSCE d'un spectromètre de masse à Multi-Collection (ICPMS-MC)**

L'ensemble de l'instrument devra être piloté par un ordinateur de bureau performant de dernière génération. Il devra assurer le pilotage complet de l'instrument, acquisition et traitement des données, de façon automatique.

Le logiciel devra en outre permettre l'exportation des données sous Microsoft Excel de façon simple et automatique. Il est demandé de préciser les modalités d'accès aux mises à jour du logiciel de l'instrument et les éventuels coûts associés. Il est demandé de préciser le nombre de licences disponibles simultanément et/ou le nombre d'installations autorisées.

Les différentes caractéristiques de la configuration proposée devront être précisées et proposer à minima les éléments suivants :

1. Un écran UHD 2160p 32" ou deux écrans WUXGA 1200p 24"
2. Une carte réseau Ethernet en supplément de celle permettant la connexion avec l'instrument
3. Un processeur et de la RAM suffisamment dimensionnés pour permettre le multitâche (logiciel instrument + logiciel périphériques + MS Office, à minima Intel I5 + 16GB)
4. Deux disques SSD monté en RAID 1 de minimum 256GB classe 40
5. Un clavier azerty USB
6. Une souris USB
7. Une carte vidéo pouvant supporter 2 écrans
8. Un système d'exploitation Windows 11 professionnel de Microsoft en Français
9. Un minimum de six ports USB A à l'arrière et deux ports USB A à l'avant. Un port USB C serait un plus.
10. Un lecteur CD/DVD

7. Engagement environnemental et social

Dans le cadre de la démarche en cours du LSCE de réduire son empreinte environnementale et carbone tout favorisant la Qualité au travail du personnel du LSCE ainsi que de tout intervenant ou collaborateur, le Soumissionnaire est invité à préciser :

- Tout dispositif visant à réduire la quantité de consommables utilisés (gaz, électricité, torches, cônes, etc.) et la robustesse de l'Équipement ou de son électronique ;
- Les éléments décrivant une baisse de la consommation énergétique de l'Équipement par rapport aux générations précédentes ;
- Un bilan carbone de l'équipement pourra être indiqué, depuis la fabrication de l'Équipement jusqu'à sa livraison sur site, ainsi que pour sa fin de vie. Ce bilan comprendra également un bilan carbone des consommables nécessaires à l'utilisation de l'Équipement et des déchets résultants, ainsi que l'énergie et des fluides nécessaires au fonctionnement du l'Équipement ;
- Le Soumissionnaire doit démontrer son engagement sur la réduction des gaz à effet de serre à travers, par exemple, la démonstration d'un coût carbone réduit pour la production de l'Équipement, des mécanismes de compensation carbone, l'engagement à assurer la maintenance et la disponibilité de pièces de rechange sur une longue durée, des procédures de recyclage des pièces et d'équipements,

Objet : Acquisition par le LSCE d'un spectromètre de masse à Multi-Collection (ICPMS-MC)

l'assurance de la robustesse de l'Équipement sur la longue durée incluant les parties informatiques et l'électroniques, etc. Le Soumissionnaire pourra à cet effet produire toute labélisation ou certification qu'il aurait obtenu ;

- Le Soumissionnaire doit démontrer son engagement à générer un environnement de travail inclusif, ouvert à la diversité, sensible aux communautés défavorisées ou discriminées, et qui met en place un management bienveillant pour promouvoir le développement et l'épanouissement de ses collaborateurs, à travers par exemple une politique de formation volontariste ;
- Le Soumissionnaire doit démontrer que l'Équipement fourni est fabriqué dans des conditions de travail socialement satisfaisantes. Les sites de production, tout au long de la chaîne de fabrication et de commercialisation, respectent notamment les 8 conventions fondamentales de l'organisation internationale du travail.

8. Documents à fournir

Le Soumissionnaire devra joindre une documentation détaillée lors de la consultation et au titre du marché. La liste des documents attendus est récapitulée ci-après.

Lors de la consultation, le Soumissionnaire devra :

- Fournir un rapport détaillé des spécificités techniques ([cf 4.1.](#)) ;
- Fournir un rapport des résultats des tests ([cf 5.](#)) ;
- Fournir la liste des consommables ou pièces maîtresses (e.g. torches, cônes, injecteurs, lentille d'extraction, joints, ...) de l'instrument ICPMS-MC, leur disponibilité (en France, en Europe ou au Royaume-Uni) et leurs coûts ;
- Le nombre d'intervenants possibles pour l'installation, le SAV et la maintenance ([cf 2](#) et [8](#)) ;
- Fournir le détail des pièces détachées, outils et autres éléments livrées avec l'instrument ;
- Fournir un descriptif du logiciel de pilotage de l'instrument et de ses capacités en terme d'utilisation et d'analyses (e.g. nombres de lignes d'analyses dans une séquence, possibilité de modifier ou pas les séquences durant l'analyse, possibilité de copier/coller des lignes ou des colonnes de et vers Excel, mode de construction des méthodes analytiques, ouverture du logiciel avec intégration de scripts et dans quel langage, etc.), et de la possibilité de pouvoir accéder au code source pour permettre à la marge de le modifier si nécessaire ;
- Fournir des manuels d'utilisation d'instruction et de maintenance de l'appareil si possible en français et à défaut en anglais ;
- Préciser la possibilité de disposer des plans électroniques de l'instrument permettant d'éventuelles réparations ultérieures en dehors des contrats de maintenance et sous couvert d'un accord de non divulgation.

A la réception en usine, le Titulaire devra fournir :

- Un rapport détaillé des spécificités techniques ([cf 4.1.1.](#)) sur l'instrument ICPMS-MC assemblé en usine ;



DRF-LSCE

CAHIER DES CHARGES

Pages : 14 / 17
Indice : B
Date : 17/04/2025

Objet : **Acquisition par le LSCE d'un spectromètre de masse à Multi-Collection (ICPMS-MC)**

- Une description technique détaillée de l'instrument et des manuels d'utilisation. Il est demandé de fournir des plans et des schémas ;
- Une description du matériel informatique fourni et du logiciel. Il sera aussi nécessaire de valider la possibilité d'exportation des données sous Excel (cf 6).

A la réception sur site, le Titulaire devra fournir :

- L'ensemble des documents techniques permettant le suivi de qualité des opérations (électronique, informatique, vide, etc...) ;
- L'ensemble des manuels pour le pilotage du logiciel de l'instrument ;
- Un rapport détaillé des spécificités techniques ([cf 4.1.1.](#)) ;
- Un rapport détaillé des résultats des tests (cf [5](#)), réalisés sur site à la livraison de l'équipement.

9. Garantie

La garantie de l'instrument ICPMS-MC doit être de 24 mois minimum à compter du jour de réception, incluant pièces, main d'œuvre et déplacement autant que nécessaire. Pendant la période de garantie, les interventions en cas de panne de l'ICPMS-MC devront être réalisées dans un délai maximum de 72H. Les modalités d'intervention dans le cadre de la garantie de l'équipement devront être décrites par le Soumissionnaire.

10. Maintenance (option)

Option 4 : Maintenance préventive et corrective complète pour 3 ans à compter de la fin de la période de garantie.

- Pour l'ICPMS-MC, il est demandé au Soumissionnaire de proposer dans son offre un forfait optionnel (Option 4) de maintenance annuelle préventive et corrective pour une période de trois ans au-delà de la période de garantie, avec intervention illimitée incluant pièces, main d'œuvres et déplacement autant que de besoin. Le Soumissionnaire donnera le détail des prestations prévues dans les contrats de maintenance. Cette proposition devra inclure les interventions en cas de panne dans les délais suivants :
- En cas d'anomalie bloquante, le Titulaire interviendra dans un délai de 2 jours ouvrés, faisant suite à l'appel du CEA,
- En cas d'anomalie semi-bloquante, le Titulaire interviendra dans un délai de 3 jours ouvrés, faisant suite à l'appel du CEA,
- En cas d'anomalie non bloquante, le Titulaire interviendra dans un délai de 5 jours ouvrés, faisant suite à l'appel du CEA.

La maintenance devra également comprendre l'évolution générale du système avec les mises à jour automatiques du logiciel.

- Les intervenants pour la maintenance devront disposer d'une aptitude médicale ;

 DRF-LSCE	<p style="text-align: center;">CAHIER DES CHARGES</p>	Pages : 15 / 17 Indice : B Date : 17/04/2025
Objet : Acquisition par le LSCE d'un spectromètre de masse à Multi-Collection (ICPMS-MC)		

- Une présentation de la structure du SAV est demandée, ainsi les modalités de support technique et les personnes concernées pour des interventions au LSCE en France ;
- Il sera précisé le temps de disponibilité des pièces détachées après l'arrêt de la commercialisation de l'instrument ;
- Il sera précisé la localisation pour la fourniture des pièces détachées et les délais de livraison ;
- Il sera précisé le coût d'un kit annuel de maintenance ainsi que son contenu et s'il est compris dans le cadre du contrat de maintenance annuel ou reste à charge du LSCE.

11. Partenariat (*offre variante*)

Dans le cadre de cet appel d'offres et pour les 5 ans à réception de l'Équipement, le LSCE souhaite développer une collaboration étroite avec le futur Titulaire du marché. Il est donc demandé au Soumissionnaire de préciser le niveau de partenariat pouvant être envisagé permettant d'obtenir un deal « gagnant-gagnant ». L'ingénieur « développement usine » ou « installation » du Titulaire pourrait être associé aux 10 premiers "abstracts" présentés en conférences internationales et 20 publications scientifiques ou techniques issues de l'Équipement et ainsi bénéficier de la notoriété du LSCE dans le développement de nouveaux traceurs isotopiques pour les Géosciences.

Pour exemple, cette co-valorisation pourrait concerner la mesure précise des isotopes du Bore dans des échantillons naturels pauvres en Bore. Ces travaux de R&D et publications communes pourraient concerner également la mise en œuvre de la cellule C/R ou du filtre MS/MS. Le LSCE pourrait devenir dès lors un Laboratoire de référence pour le Titulaire, et dans ce cadre, pourrait accepter quelques visites par an pour des phases de démonstration.

En contrepartie, du fait des externalités positives attendues pour le Titulaire, le LSCE par ce partenariat pourrait bénéficier d'un tarif partenarial, *via* une remise substantielle sur le coût d'acquisition de l'Équipement et des options. Également le LSCE souhaite créer une relation approfondie avec les différentes parties prenantes que sont l'ingénieur usine du Titulaire et le pilote de l'Équipement. Enfin, un effort notable de la part du Soumissionnaire concernant les frais de maintenance et de suivi de l'Équipement pendant les 5 années de partenariat avec le LSCE est attendu afin de favoriser le partenariat et faciliter par exemple les visites de démonstration.

Le présent partenariat fera l'objet de la présentation d'une offre variante par le Soumissionnaire lors de sa réponse. Cette offre devra répondre aux mêmes exigences que l'offre de base du Soumissionnaire.

12. Planning

L'offre devra fournir une indication détaillée du planning prévisionnel jusqu'à la réception de l'Équipement au CEA en tenant compte a minima des principaux jalons suivants :

- Approvisionnement des pièces par l'usine ;



DRF-LSCE

CAHIER DES CHARGES

Pages : 16 / 17
Indice : B
Date : 17/04/2025

Objet : **Acquisition par le LSCE d'un spectromètre de masse à Multi-Collection (ICPMS-MC)**

- Fourniture du rapport sur les spécifications techniques de l'ICPMS MC assemblé en usine ([cf 4.1.](#)) ;
- Livraison de l'ensemble de l'Équipement sur site et installation ;
- Fourniture du rapport sur les spécifications techniques de l'ICPMS MC installé sur site ([cf 4.1](#))
- Fourniture du rapport sur les résultats des tests spécifiques ([cf 5](#)) ;
- Formation du personnel sur site ([cf 10](#))

Il est souhaité que l'Équipement soit réceptionné au LSCE avant fin 2025.

13. Livraison, installation et formation sur site

La livraison de l'Équipement et son installation au rez-de-chaussée du bâtiment 714 en pièce 51A (site de l'Orme de Merisiers) dans un délai qui sera précisé sera à la charge du Titulaire, en lien avec l'installation du CEA et en accord avec les règles de sécurité du CEA qui seront définies dans un plan de prévention préalable.

Le Titulaire doit assurer :

- L'emballage de l'équipement, adapté au moyen de transport utilisé et permettant une manutention aisée dans les conditions d'accès existantes ;
- La protection de manière à éviter toute détérioration en particulier par :
 - Les chocs pouvant survenir pendant le transport,
 - Les intempéries,
 - Les conditions de stockage momentané sur des aires sans protection, en dehors des locaux,
 - Le transport jusqu'au local prévu pour les machines au CEA,
 - Le déchargement et la dépose du matériel dans le local prévu ;
- Le raccordement électrique de l'instrument sera à la charge du Titulaire ;
- Les raccordements des extractions à l'existant seront réalisés par le CEA ;
- Le Titulaire vérifiera les performances techniques de l'instrument ICPMS MC ([cf 4.1](#)) et fournira un rapport détaillé.

Pour l'installation, le Titulaire doit assurer :

- Le contrôle et la conformité des installations sur lesquelles est fixé l'équipement,
- Les manutentions sur site de l'équipement et de ses matériels,
- Le montage et le réglage en préparation des essais sur site,
- La remise en propreté des locaux occupés,
- Le raccordement électrique à l'ensemble des réseaux du bâtiment.

Lors de l'opération de montage et d'installation, le Titulaire doit assurer la responsabilité des dommages qu'il peut occasionner sur site.

Les tests spécifiques définis au paragraphe [5](#) seront effectués en totalité, ou en partie après accord du CEA, afin de vérifier le bon fonctionnement de l'appareil. Les résultats des tests

 DRF-LSCE	<p align="center">CAHIER DES CHARGES</p>	Pages : 17 / 17 Indice : B Date : 17/04/2025
Objet : Acquisition par le LSCE d'un spectromètre de masse à Multi-Collection (ICPMS-MC)		

concernant le bon fonctionnement du système seront fournis par le Titulaire au CEA sous forme d'un rapport de synthèse.

Le CEA s'assurera qu'il dispose bien de l'ensemble des documents techniques décrits en paragraphe 7.

Une formation approfondie de l'utilisation de l'instrument ICPMS-MC, du logiciel et de sa maintenance premier niveau dans le cadre d'opérations de routine sera assurée sur site en français pour une à quatre personnes et dans le mois qui suit l'installation. Il sera précisé par le Soumissionnaire les conditions de la formation (durée, contenu et délai d'exécution). Il sera proposé une deuxième phase de formation complémentaire de 2 jours, 6 mois après la réception de l'Équipement.

La réception de l'Équipement ne sera prononcée qu'en fin de période de montage au laboratoire du CEA, uniquement si toutes les réserves sont levées et si l'ensemble des caractéristiques correspond complètement aux spécifications.