

## Jeu de tube externe en céramique résistante

pour torches ICP-OES Agilent série 5000



### Minimiser les temps d'indisponibilité et limiter les remplacements

Agilent présente son jeu de tube externe en céramique destiné aux torches ICP-OES entièrement amovibles et semi-amovibles de la série 5000. Ce produit a été développé pour faire face aux défis rencontrés lors de l'analyse d'échantillons dont la teneur en solides dissous totaux (TDS) ou en sels est élevée, particulièrement dans les échantillons provenant de batteries au lithium-ion (riches en métaux alcalins), ou dans les échantillons dont la composition chimique est agressive, c'est-à-dire qui attaque et dégrade le tube externe en quartz.

Conçu pour remplacer directement le jeu de tubes externes en quartz classique, ce jeu de tubes externes en céramique offre une durabilité et une longévité nettement améliorées, aidant les laboratoires à maximiser la disponibilité des instruments, à réduire la fréquence de maintenance et à diminuer les coûts de fonctionnement avec des matrices complexes.

## Rôle du jeu de tubes dans la torche ICP-OES

Une torche ICP-OES se compose généralement de trois tubes concentriques en quartz. Le tube de plus faible diamètre intérieur (id) au centre est l'injecteur. Le jeu de tube, qui est un composant essentiel de la torche, se compose d'un tube externe et d'un tube intermédiaire qui enveloppe l'injecteur. Un débit relativement élevé d'argon est introduit entre les tubes intermédiaire et externe afin de confiner le plasma et refroidir la torche. Le gaz d'argon est ionisé par radiofréquence (RF), générée par une bobine d'induction qui entoure le jeu de tubes externes de la torche, permettant la formation d'un plasma stable et de haute température (~10 000°K). L'aérosol d'échantillon, généré par le nébuliseur, est filtré en masse par la chambre de nébulisation et envoyé dans le plasma à travers l'injecteur pour l'atomisation et l'excitation, permettant la mesure de l'émission optique. Un débit d'argon plus faible, entre l'injecteur et le tube intermédiaire, maintient et dirige le plasma au-dessus de l'injecteur, réduisant les dépôts sur la pointe de l'injecteur.

## Difficultés principales rencontrées avec des jeux de tube en quartz

Dans les applications où les échantillons présentent une teneur élevée en solides dissous totaux (TDS) ou en métaux alcalino-terreux (Li, Na, K, Ca, Cs, etc.), tels que les matériaux de batteries lithium-ion, de fusions, de matrices hautement salines, et de digestions à base d'acides, les ions élémentaires créés dans le plasma au sein de la torche peuvent diffuser à la surface du tube externe en quartz.

Les jeux de tubes en quartz sont constitués de quartz fondu (ou de silice fondue), un verre amorphe fabriqué à partir de dioxyde de silicium de haute pureté (SiO<sub>2</sub>). Lors d'une exposition à des ions de métaux alcalins à haute

température, le quartz réorganise sa structure moléculaire, rompant les liaisons Si-O. La dévitrification survient lorsque ces ions étrangers pénètrent dans le quartz et « déverrouillent » cette structure, en remplaçant ou perturbant les liaisons Si-O, ce qui aboutit à une structure friable. Au cours de la dévitrification, le quartz devient blanc ou opaque (Figure 1), avec de nombreuses microfissures dans la couche de surface, ce qui réduit drastiquement la clarté optique, la résistance mécanique et la durée de vie du matériau. Cette dégradation est en grande partie irréversible. Le nettoyage de la torche peut temporairement améliorer son apparence, mais la dévitrification se poursuivra. Le quartz finira par se fissurer ou se briser, et le remplacement de la pièce est donc nécessaire.

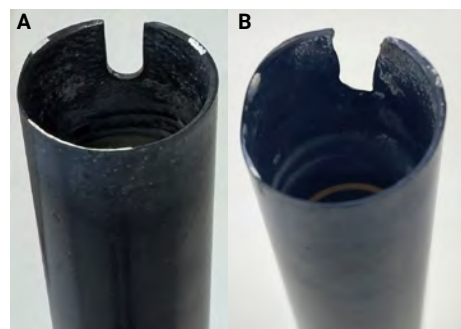


**Figure 1.** Dévitrification d'un jeu de tube externe en quartz après 24 heures d'analyse d'une solution à 1,5 % de TDS (Li, Na, Cs) dans de l'HNO<sub>3</sub> 5 %.

La dévitrification désigne le mécanisme de dégradation qui limite considérablement la durée d'utilisation d'un jeu de tubes externes en quartz. Il s'agit d'un facteur clé dans le développement de matériaux alternatifs qui résistent à la dévitrification, à la solarisation et aux fissures thermiques dans des conditions difficiles.

## La solution d'Agilent : le jeu de tubes externes en céramique

Le jeu de tubes externes en céramique d'Agilent a été conçu pour résister aux conditions sévères qui accélèrent le processus de dévitrification et la dégradation des tubes externes en quartz traditionnels. Le tube externe robuste en céramique est fabriqué à partir de nitrure de silicium (Si<sub>3</sub>N<sub>4</sub>), ce qui empêche les ions alcalins de pénétrer dans le matériau massif sous-jacent. La pièce est compatible avec les configurations à double visée (DV) et à visée radiale (RV), et convient aux torches entièrement amovibles et semi-amovibles Easy-fit pour le système d'ICP-OES Agilent série 5000.



**Figure 2.** Tube externe en céramique après 900 heures (A) d'analyse d'une solution à 1,5 % de TDS (Li, Na, Cs) dans de l'HNO<sub>3</sub> 5 %, et après 1 792 heures (B).

Contrairement au quartz, les propriétés du nitrure de silicium offrent une résistance supérieure à la dévitrification induite par l'analyse des métaux alcalins (Figure 2), car les ions métalliques libres ne peuvent pas déstabiliser les liaisons Si-N. Le nitrure de silicium présente également une meilleure tolérance aux chocs thermiques lorsqu'il est exposé à des cycles de plasma à haute température. Il est également recommandé pour l'analyse d'échantillons contenant de l'acide fluorhydrique (HF) qui peut éroder et attaquer les composants en quartz. Un injecteur inerte en alumine doit également être utilisé lors de l'analyse d'échantillons contenant du HF, le quartz n'étant pas compatible.

Généralement, un jeu de tubes externes en céramique dure 10 fois plus longtemps qu'un jeu de tubes externes en quartz pour les échantillons issus de batteries au lithium-ion ou d'applications à forte teneur en TDS.

## Applications pouvant bénéficier de l'utilisation d'un jeu de tubes externes en céramique

L'avantage principal des jeux de tubes en céramique (nitrure de silicium) réside dans leur durée de vie plus longue, entraînant moins d'arrêts imprévus liés à la maintenance et réduisant le besoin constant de mettre au rebut et de remplacer les jeux de tubes externes en quartz usés. Voici les principaux domaines d'application qui peuvent tirer parti de l'adoption d'un système robuste d'introduction d'échantillons intégrant le jeu de tubes externes en céramique, afin d'améliorer la durabilité à long terme tout en garantissant des performances stables qui produisent des données analytiques de haute qualité.

### Batterie lithium-ion

Tandis que la production mondiale de batteries (lithium-ion et autres technologies) s'accélère, la recherche se poursuit pour développer des technologies plus sûres et plus durables. Les systèmes ICP-OES d'Agilent jouent un rôle essentiel tout au long de la chaîne de valeur des batteries.



Figure 3. Technologie de batterie.

Depuis la qualification et le contrôle qualité des matières premières jusqu'au développement de produits et à la recherche en sécurité, le système ICP-OES est utilisé pour analyser des matériaux essentiels, tels que la saumure, les anodes et les cathodes (LCO, NMC, NCA, LFP), les électrolytes ( $\text{LiPF}_6$ ,  $\text{LiBF}_4$ , et  $\text{LiTFSI}$ ) les séparateurs, les intermédiaires de procédé et les flux de recyclage de « black mass ».

Ces échantillons chimiquement agressifs, à matrice chargée, sont riches en métaux alcalino-terreux (Li, Na, K, Rb, Cs) qui s'ionisent facilement et provoquent une dévitrification rapide des composants de torche en quartz.

La recherche d'une pureté plus élevée et d'un contrôle plus rigoureux de la contamination élémentaire au sein des matériaux qui composent les batteries est essentielle pour empêcher l'apparition de réactions secondaires et de dégradation. Ainsi, il est primordial de réaliser une analyse par ICP à partir d'échantillons purs et non dilués, afin d'atteindre les faibles limites de détection nécessaires pour aboutir à des batteries plus sûres et plus durables.

### Fusions et produits de digestion

Une digestion par fusion est une technique de préparation d'échantillon qui implique la dissolution de l'échantillon dans un flux liquide afin de décomposer les matériaux réfractaires ou géologiques susceptibles de résister à une digestion acide classique (par exemple, les silicates, oxydes, minéraux ou céramique). L'échantillon est d'abord fusionné avec un flux à haute température (souvent comprise entre 900 et 1 100 °C) afin de fondre et détruire la structure cristalline des minéraux. Les flux habituellement utilisés sont ceux à base de métaborate de lithium ( $\text{LiBO}_2$ ), tétraborate de lithium ( $\text{Li}_2\text{B}_4\text{O}_7$ ) ou de carbonate de sodium ( $\text{Na}_2\text{CO}_3$ ). La perle homogène issue du processus est dissoute sous forme d'acide avant

l'analyse. Le flux utilisé pour la préparation met en jeu des sels supplémentaires dans le produit de digestion final, ce qui augmente la concentration en solides dissous ainsi que les interférences éventuelles lors de l'analyse.

### Échantillons à fortes teneur en solides dissous

Les échantillons qui contiennent jusqu'à 30 % de TDS, tels que l'eau de mer ou la saumure, les produits de digestion à base d'acides (dont l'acide fluorhydrique ou la digestion par 4 acides [qui associe l'acide chlorhydrique {HCl}, l'acide nitrique {HNO<sub>3</sub>}, l'acide fluorhydrique {HF} et l'acide perchlorique {HClO<sub>4</sub>}]), les eaux usées, ou les aliments/boissons à forte teneur en sel/sucre.

### Environnement

Lors de l'analyse d'échantillons environnementaux, un tampon d'ionisation, avec une concentration en césium (Cs) généralement à 2 %, est souvent ajouté dans les étalons et les échantillons pour supprimer les interférences dues à l'ionisation des métaux alcalins (Na, K, Ca, Rb) facilement ionisés, et ainsi modifier l'équilibre ionique dans le plasma. Le césium présente un faible potentiel d'ionisation. Cet élément est utilisé pour saturer le plasma en électrons et ainsi favoriser la stabilisation de l'environnement plasmatique.

### Solvants organiques

Lors de l'analyse de solvants organiques volatils et semi-volatils, les jeux de tubes externes en quartz traditionnels peuvent souffrir d'un processus de solarisation provoqué par un rayonnement ultraviolet (UV) intense, généré par la température élevée du plasma. Les impuretés présentes dans le quartz, comme certains métaux, absorbent l'énergie UV et entraînent une dévitrification localisée. Ces effets fragilisent la surface du quartz, entraînant l'apparition de fissures en « toile d'araignée » (Figure 4) lors des cycles de chauffage et de

refroidissement de la torche. Il en résulte une durée de vie utile plus courte.

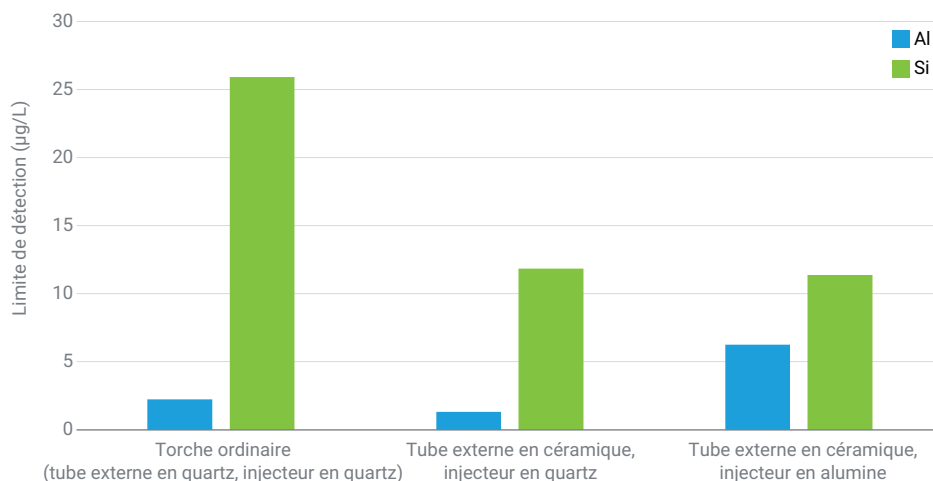


**Figure 4.** Fissure en forme de toile d'araignée dans un bol en quartz.

Bien qu'Agilent propose des jeux de tubes en quartz de très haute pureté, spécialement conçus pour l'analyse des solvants organiques destinée à lutter contre ces fissures en forme de toile d'araignée, les jeux de tubes externes en céramique offrent une résistance accrue à la solarisation ainsi qu'une durée de vie prolongée.

### Quantification du silicium à l'état de trace

Lors de la quantification du silicium (Si) à l'état de trace, la limite de détection atteinte est restreinte par le relargage du silicium du système d'introduction des échantillons. L'utilisation d'un système d'introduction des échantillons inerte peut s'avérer utile, mais des problèmes de relargage de Si depuis les composants de la torche peuvent subsister. En optant pour un jeu de tubes externes en céramique (fabriqué à partir de nitrure de silicium), il est possible de réduire la lixiviation du silicium de la torche et ainsi d'améliorer les performances en termes de limite de détection (Figure 5).



**Figure 5.** Comparaison des limites de détection : quartz vs céramique.



**Figure 6.** Tube externe en céramique (A) et tube interne en quartz (B) d'un jeu de tubes Agilent.

Cet écart peut être encore plus marqué lors de l'analyse de matrices d'échantillons plus complexes.

L'injecteur en alumine inerte est composé d'oxyde d'aluminium ( $Al_2O_3$ ) et permet d'obtenir une limite de détection plus élevée pour l'aluminium, par rapport à un injecteur en quartz.

### Le jeu de tubes externes en céramique conçu par Agilent

Le jeu de tubes externes en céramique d'Agilent présente une conception amovible, comprenant un tube externe

en céramique (nitrure de silicium), et un tube intermédiaire en quartz (Figure 6).

Cette conception amovible permet de retirer et de nettoyer le tube externe indépendamment du tube intermédiaire. Cela est particulièrement avantageux lors de l'analyse de matrices organiques où des dépôts de carbone peuvent s'accumuler sur le tube externe en raison d'une teneur excessive en carbone dans l'échantillon. Le tube externe en céramique (seul) peut être retiré et placé dans un four à moufle afin de brûler les dépôts de carbone.

Le démontage et le remontage du jeu de tubes en céramique sont faciles à réaliser. Scannez le code QR ci-dessous ou cliquez dessus pour regarder une vidéo illustrant le processus, ou consultez le guide d'utilisation de la torche Easy-fit pour ICP-OES (numéro de publication [5994-8863FR](#)).

## Injecteurs pour la torche : facteurs à prendre en compte

Agilent propose une sélection d'injecteurs en alumine ou en quartz inerte pour une utilisation avec la torche entièrement amovible pour le système d'ICP-OES Agilent série 5000 (les torches monoblocs et semi-amovibles sont également disponibles avec différents injecteurs). Les injecteurs sont disponibles en quatre diamètres internes différents : 0,8 ; 1,4 ; 1,8 ; et 2,4 mm. L'injecteur en quartz est l'option la plus économique, tandis que l'injecteur en alumine offre une durée de vie plus longue et un nettoyage plus facile avec la plupart des matrices.

Lors de l'utilisation d'un injecteur en quartz avec un acide agressif ou des échantillons à matrice chargée, la pointe de l'injecteur est susceptible de souffrir d'une dévitrification causée par l'exposition à la matrice. Le quartz perd sa finition polie, ce qui permet aux sels

des échantillons à matrice chargée de se fixer à la surface. Avec l'usage continu et les nettoyages répétés, l'accumulation se produit à un rythme de plus en plus rapide, ce qui réduit le temps de fonctionnement entre deux nettoyages. Cette augmentation de la fréquence de maintenance se traduit par davantage d'arrêts. Dans le pire des cas, l'injecteur devra être remplacé.

L'injecteur en alumine inerte fournit une excellente résistance à la dévitrification et à la corrosion lorsqu'il est utilisé avec des échantillons à matrice chargée. Pour les matrices riches en métaux alcalins, y compris les matériaux des batteries au lithium, ou les produits de digestion à base d'acide fluorhydrique, il est recommandé d'utiliser un injecteur en alumine inerte.

[En savoir plus sur notre gamme d'injecteurs.](#)

## Résumé

Le jeu de tubes externes en céramique d'Agilent destiné aux torches Easy-fit pour ICP-OES Agilent série 5000 a été développé pour pallier les limites intrinsèques des jeux de tubes externes en quartz classiques lorsqu'ils fonctionnent dans des conditions de matrices fortement chargées et chimiquement agressives.

Les jeux de tubes externes en quartz sont sujets à la dévitrification, la désoloration et aux fissures provoquées par la température lorsqu'ils sont exposés à ces échantillons de matrice chargée. Il en résulte une perte d'intégrité mécanique ainsi qu'une défaillance prématurée. Il en résulte une durée de vie réduite de la torche, une fréquence

de maintenance accrue et des arrêts d'instrument imprévus.

Le jeu de tubes externes en céramique offre une résistance accrue à la dévitrification causée par les attaques des métaux alcalins et les chocs thermiques ainsi qu'à la solarisation provoquée par les rayonnements UV intenses. Pour des applications impliquant une teneur élevée en solides dissous totaux (TDS), des matrices chargées en métaux alcalins (tels que les échantillons de batterie au lithium-ion), des digestions acides agressives ou des solvants organiques, le jeu de tubes externes en céramique offre une durée de vie jusqu'à 10 fois supérieure, tout en améliorant le blanc en silicium.

Compatible avec les configurations à double visée (DV) et à visée radiale (RV), le jeu de tubes externes en céramique fournit une solution robuste, qui nécessite une faible maintenance, améliore la disponibilité des instruments, la fiabilité analytique et le coût total de possession pour les applications ICP-OES exigeantes.

En savoir plus sur le système de torche entièrement amovible : brochure Agilent [5994-1572FR](#).

Vous pouvez également consulter les pages des produits suivantes :

- [Torches pour ICP-OES 5100/5110 et 5800/5900](#), ou
- [Tube externe pour torches ICP-OES](#)

Si vous souhaitez obtenir des conseils et astuces supplémentaires pour vous assurer d'obtenir les meilleures performances, consultez le [ICP-OES Resource Hub](#).

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

DE-013382

Ces informations peuvent être modifiées sans préavis.

© Agilent Technologies, Inc. 2026  
Imprimé aux États-Unis, le 19 mars 2026  
5994-8992FR